



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS**

POKRYTÍ SIGNÁLEM - ODLEHLÉ OBLASTI

COVERAGE OF SIGNAL - REMOTE REGION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID GREŠNAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. ING. MILOSLAV FILKA, CSC.

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: David Grenar

ID: 145999

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Pokrytí signálem - odlehlé oblasti

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proved'te návrh distribuce signálu v odlehlých oblastech. Práce se bude zabývat technickou a ekonomickou náročností realizace pokrytí těchto odlehlých lokalit s menším počtem obyvatel pomocí technologie optických, metalických a bezdrátových sítí. Předmětem zkoumání bude porovnání vlastností a technických parametrů i ekonomické náročnosti na výstavbu těchto výše uvedených sítí. Na podkladě vyhodnocení vhodnosti technologie, realizujte praktický návrh sítě ve vybrané lokalitě.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] FILKA, M. Přenosová média. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.
- [3] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P. Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras. Mikrokom, Praha 2001.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 4.6.2014

Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Z důvodu geograficky členitého terénu není v České republice stále mnoho destinací pokryto hlasovým a datovým signálem. Tyto hůře dostupné lokality jsou někdy pokryty pouze GSM technologií, jež však neumožňuje kvalitní příjem signálu v budovách. Operátoři provozující GSM sítě neuvažují o zlepšení příjmu signálu z důvodu vysokých nákladů na výstavbu vysílačů a vykrývačů a velmi nízké ekonomické návratnosti. V roce 2012 ve vypsání aukce pro novou technologii LTE na volné kmitočty, uvolněné po ukončení analogového pozemního televizního vysílání, byla jako jedna z jejích podmínek stanovena povinnost, že vítěz aukce musí pokrýt prioritně odlehlé lokality s menším počtem obyvatel. Nově vypsání aukce v roce 2013 již tuto podmínku neobsahuje. Cílem práce je na základě teoretického traktování problematiky přenosových médií a analýzy současného stavu a podmínek v dané lokalitě navrhnout možnost distribuce signálu v odlehlých oblastech, přičemž je uplatněn zřetel k technické a ekonomické náročnosti realizace pokrytí odlehlých lokalit pomocí technologie optických, metalických a bezdrátových sítí. Dále je realizováno porovnání vlastností, technických parametrů a ekonomické náročnosti výstavby druhů sítí a provedeno dílčí shrnutí. Poté je přistoupeno k realizaci praktického návrhu sítě ve vybrané lokalitě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Distribuce signálu, odlehlá oblast, přenosové médium, vlastnosti a parametry přenosové technologie, metalické přenosové médium, optické přenosové médium, bezdrátové přenosové médium, ekonomická náročnost, návrh výstavby distribuční sítě pro zvolenou lokalitu.

ABSTRACT

Because the Czech Republic has been specific geographically rugged terrain. We could find a many places without a voice and data coverage. This place with worst signal coverage have sometime only the GSM technology, but this technology does not have high quality for calling inside building. The operators which are owner of GSM networks they don't care about how to make better coverage. The investment is more expensive than the profit of service. In 2012 was prepared auction of frequency for new LTE technology. In one of point was written that operators must start with building the networks at place with worst signal coverage, but in 2013 this point is missing. In thesis we will basically from our theoretical technological experience trying found out a solution of coverage in remote region. Our solution trying found out a best way between economic a technological transmission demand, between metallic, optical and

wireless transmission medium. Next part is interest about compare properties, technical parameter and economics of building a type of network. Final step is building a real network distribution in chosen region.

KEYWORDS

Signal distribution, remote region, transmission medium, properties of transmission technology, metallic transmission medium, optical transmission medium, wireless transmission medium, economic requirements, solution proposal to build a network in remote region.

GRENNAR, D. *Pokrytí signálem – odlehlé oblasti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2014. 50 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Pokrytí signálem – odlehlé oblasti* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních anebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Doc. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, vstřícnost, trpělivost a cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
Úvod	11
1 Druhy přenosových médií	13
1.1 Metalická přenosová média	13
1.1.1 Nesymetrické vedení – koaxiální kabel	14
1.1.2 Symetrické vedení.....	16
1.1.3 Technologie systému xDSL.....	19
1.1.4 Strukturovaný kabelážní systém	20
1.2 Optická přenosová média.....	21
1.2.1 Složení optického vlákna	22
1.2.2 Mnohovidová vlákna – multimode	23
1.2.3 Jednovidová vlákna – singlemode	24
1.3 Bezdrátová přenosová média	25
1.3.1 Optické bezdrátové spoje.....	26
1.3.2 Radioreléové bezdrátové spoje	27
1.4 Předběžná ekonomická rozvaha pro návrh na výstavbu páteřní trasy do vybrané odlehle oblasti.....	32
2 Návrh pokrytí datovým signálem odlehle oblasti a jeho realizace	36
2.1 Stanovení hlavního cíle a parciálních cílů návrhu pokrytí datovým signálem odlehle oblasti	36
2.2 Průzkum lokality a nalezení bodů pro distribuci páteřní konektivity	36
2.3 Návrh umístění distribučních bodů s nejvyšším možným pokrytím oblasti.....	40
2.4 Technologie bodů podle kritéria ekonomická náročnost.....	41
2.4.1 Návrh realizace napájení distribučních bodů včetně komponentů a jeho verifikace v praxi.....	41
2.4.2 Hlavní distribuční bod	43
2.4.3 Vykrývací distribuční body	47

2.4.4	Klientská stanice	47
2.5	Ekonomická náročnost řešení	50
3	Závěr	54
	Literatura	56
	Seznam použitých zkratek	59
	Přílohy	61
A	CD nosič s elektronickou podobou bakalářské práce	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Elektromagnetické pole v symetrickém a nesymetrickém páru	13
Obr. 1.2:	Řez koaxiálním kabelem	15
Obr. 1.3:	Křížová čtyřka	17
Obr. 1.4:	Čtyřka D	18
Obr. 1.5:	Izolace vodičů vzduch – papír	18
Obr. 1.6:	Jádro, plášť a primární ochrana optického kabelu	23
Obr. 1.7:	Řez mnohovidovým vláknem	24
Obr. 1.8:	Řez jednovidovým vláknem	25
Obr. 1.9:	Bezdrátový distribuční bod	27
Obr. 1.10:	Závislost ceny na vzdálenosti	34
Obr. 1.11:	Porovnání ceny a přenosové rychlosti	35
Obr. 2.1:	RadioLab – mapa pro ověření viditelnosti jednotlivých bodů páteřní trasy	37
Obr. 2.2:	RadioLab – profil terénu pro jednotlivé body páteřního spoj	38
Obr. 2.3:	Měření volných pásem ve vybrané odlehlé oblasti	39
Obr. 2.4:	Topologie distribučních bodů ve vybrané odlehlé oblasti	40
Obr. 2.5:	Hlavní rozvaděč – UPS	42
Obr. 2.6:	Páteřní radiový mikrovlnný spoj ALCOMA MP200	43
Obr. 2.7:	Router Mikrotik CCR1016	44
Obr. 2.8:	Pasivní injektor Power Over Ethernet injektor s 12 porty	45
Obr. 2.9:	NanoBridge M5, anténa 2x 25dBi, MIMO 5GHz, AirMax	45
Obr. 2.10:	Dish a Rocket M5, anténa 2x 25dBi, MIMO 5GHz, AirMax	46

Obr. 2.11:	Kompletní řešení hlavního rozvaděče	46
Obr. 2.12:	Klientská jednotka	47
Obr. 2.13:	Propustnost na klientské jednotce	49
Obr. 2.14:	Závislost rychlosti přenosu na vzdálenosti	50

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1:	Přehled typů přípojek systémů xDSL	20
Tab. 1.2:	Porovnání ekonomické náročnosti pro jednotlivá přenosová média pro vzdálenost 5 000 m	33
Tab. 2.1:	Odběr proudu pro jednotlivé aktivní prvky	43
Tab. 2.2:	Závislost rychlosti na vzdálenosti od AP	49
Tab. 2.3:	Kalkulace bezdrátového řešení distribuce signálu v odlehlé oblasti	51
Tab. 2.4:	Kalkulace kombinovaného řešení distribuce signálu v odlehlé oblasti	53

ÚVOD

V současné moderní době je jedním z kritérií pro posuzování kvality života a stupně životní úrovně i dostupnost, rychlost a bezchybnost informací a informačních zdrojů. Jsme zvyklí se každodenně pohybovat online po síti sítí – Internetu a běžně využívat různá technická zařízení od osobních počítačů přes notebooky a ultrabooky po smartphony neboli chytré telefony ke komunikaci s blízkým i vzdáleným protějškem. Současná moderní elektronická zařízení nám umožňují v reálném čase snadno a rychle získat potřebné informace, komunikovat ve virtuálním prostředí např. s odbornými partnery, obchodními zástupci a specialisty, pracovat formou home-office z domova, realizovat internetový obchod, používat internetové bankovníctví či být v kontaktu prostřednictvím sociálních sítí se svými přáteli. Základní podmínkou pro realizaci konkrétních současných online virtuálních způsobů komunikace je zajištění kvalitního a spolehlivého přenosu signálů od zdroje (serveru) ke koncovému uživateli.

V České republice je sice dle Českého statistického úřadu vykazováno i přes členitý terén pokrytí více jak 98 % území GSM signálem, pro srovnání – např. ve Spojených státech amerických je uváděno celkové pokrytí signálem GSM a CDMA přibližně 50 %. Toto vysoké procentuální pokrytí signálem v Česku na první pohled působí, že Česká republika je na tom výborně a dosáhnutí 100% pokrytí bude snadné. Ve skutečnosti však zbývající 2 % českého území bez pokrytí signálem představují konkrétní jednotlivé destinace s žádnou či velice nízkou dostupností datových a hlasových signálů, v jejichž případě nelze vzhledem k vysoké ekonomické náročnosti pokrytí signálem fakticky v blízké budoucnosti očekávat sebemenší posun k lepšímu. Ve většině těchto nepokrytých lokalit je totiž GSM signál použitelný pouze pro hlasové služby a pomalé datové služby přes GPRS a EDGE, přitom jen v lepším případě jsou k dispozici alespoň metalické rozvody, určené pro hlasové i datové služby xDSL.

V roce 2013 byla v rámci České republiky oficiálně vypsána aukce uvolněných kmitočtů po zrušení analogového pozemního televizního vysílání. V původním zadání byla podmínka, že vítěz aukce musí nejprve pokrýt signálem tyto odlehlé nepokryté oblasti a až poté lze následně přistoupit k distribuci signálu do dobře dostupných

velkých měst, hustě obydlených destinací a ekonomicko-průmyslových konglomerací. Toto původní vyhlášení však bylo zrušeno a na konci roku 2013 byla pro tyto kmitočty vypsána nová aukce. Podmínka o pokrytí dosud signálem nevykrytých oblastí však již v novém vyhlášení soutěže o kmitočty uvedena nebyla.

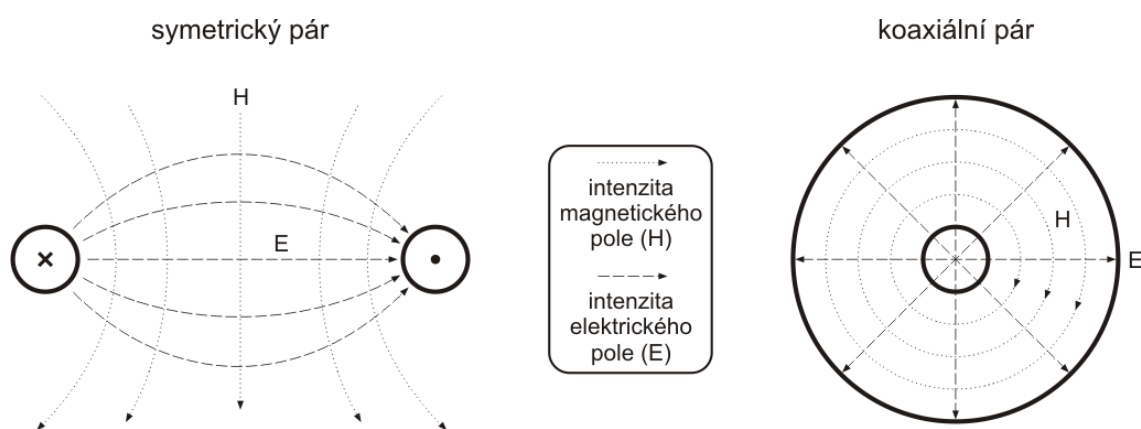
Bakalářská práce bude věnována tématu pokrytí signálem vybrané odlehle oblasti. Cílem práce je na základě teoretického traktování problematiky jednotlivých druhů přenosových médií sloužících k přenosu signálu k uživatelům a jejich vlastnostem a provedení analýzy současného stavu a podmínek ve vybrané odlehle lokalitě dosud nepokryté signálem navrhnout možnost distribuce signálu ve vybrané odlehle oblasti, přičemž při výběru bude uplatněn hlavní zřetel k ekonomické náročnosti realizace pokrytí odlehlých lokalit pomocí technologie optických, metalických a bezdrátových sítí při zohlednění vysoké technické úrovně řešení. Poté bude provedeno porovnání vlastností, technických parametrů a ekonomické náročnosti výstavby druhů sítí s dílčími shrnutími. Následně bude přistoupeno k realizaci praktického návrhu sítě ve vybrané dosud signálem nevykryté lokalitě, tj. konkrétní zvolené odlehle oblasti v Česku, včetně varianty napojení na páteřní spoj. Na základě výsledků získaných v teoretické a praktické části bakalářské práce budou formulovány závěry a doporučení pro konkrétní návrh řešení pokrytí signálem zvolené odlehle oblasti v České republice.

1 DRUHY PŘENOSOVÝCH MÉDIÍ

V následujícím textu budou postupně představeny jednotlivé druhy přenosových medií, poté bude provedena analýza druhů přenosů signálů.

1.1 Metalická přenosová média

Metalická přenosová média se řadila v nedávné minulosti k jednomu z nejčastěji aplikovaných médií. Metalická média nabízejí různé druhy přenosové kapacity a jsou tvořena nejčastěji dvojicí souběžných vodičů (měď, bronz, hliník nebo ocel). Podle uspořádání vodičů se rozlišují dva druhy vedení, a to vedení nesymetrické – koaxiální kabel a symetrické, viz obr. 1.1.



Obr. 1.1: Elektromagnetické pole v symetrickém a nesymetrickém páru [2].

Symetrická a nesymetrická vedení mohou být realizována nadzemně i podzemně prostřednictvím kabelového vedení. Kabelové vedení v nadzemním režimu je omezeno klimatickými podmínkami a může být negativně ovlivněno i rušivými elektromagnetickými vlivy [1].

Podzemní kabelové vedení bývá umístěno ve výkopové hloubce minimálně 80 cm pod úrovní terénu, popř. je zataženo do připravených kabelových kolektorů, díky čemuž je chráněno proti vlivům klimatických podmínek i proti nahodilému mechanickému poškození. Konstrukce kabelového vedení je chráněna také proti rušení elektromagnetickými poli. Metoda instalace zatažení kabelů prostřednictvím kabelových kolektorů je uživatelsky omezena především na velké městské aglomerace.

Při současném mohutném technickém rozvoji je jen otázkou času, kdy konkrétní technologie v různých sférách lidské činnosti dospěje ke svým technickým, technologickým nebo fyzikálním hranicím použitelnosti, tj. do bodu, kdy je její další rozšiřování, inovace nebo zdokonalování buď zcela nemožné, nebo kdy pro realizaci potřebných aktualizací a změn jsou požadovány extrémně vysoké finanční náklady. V takových případech, u nichž se jedná pro futurum již o nevhodné a často i principiálně technicky nezdokonalitelné technologie (takovou byl např. ve své době Ethernet) a u nichž již bylo proinvestováno příliš mnoho finančních prostředků, může pomoci prodloužení životnosti produktu pouze zásadní a kompletní změna základních principů činnosti.

Technologická hranice přenosové rychlosti či šířky přenosového pásma, což jsou dvě různé vzájemně svázané veličiny umožňující definovat množství dat přenášených po médiu, je u metalických vedení dána fyzikálními jevy, doprovázejícími přenos signálu o velmi vysokých kmitočtech vodičem. Nežádoucí vliv lze částečně kompenzovat konstrukcí kabelu nebo struktury sítě. V současné době je dána hranice přenosové rychlosti metalických vedení zhruba 10 Gbps při vzdálenostech několika metrů.

1.1.1 Nesymetrické vedení – koaxiální kabel

Nesymetrické vedení neboli koaxiální kabel se sestává z jednoho válcového vnějšího vodiče a druhého neboli vnitřního vodiče, jenž tvoří drátový nebo trubkový vodič. Vnější vodič bývá označován jako stínění a vnitřní vodič jako jádro. Vnější a vnitřní vodič je oddělen nevodivou vrstvou neboli dielektrikem [1].

První vnější válcový vodič může být tvořen i vodivou sít'kou, jež obtéká izolační vrstvu středového vodiče. Středový vodič je realizován po celé délce vedení, má

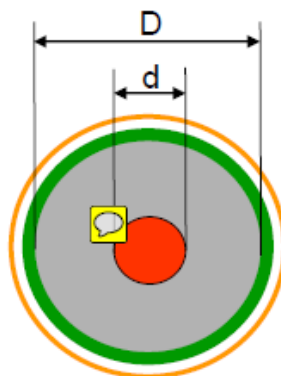
většinou podobu plného drátu nebo lanka spleteného z více drátků. U některých koaxiálních kabelů bývá středový vodič dutý. Za standardní materiál pro výrobu středového vodiče je považována měď. Vnější vrstva koaxiálního kabelu má za cíl ochránit středový vodič před vlivem okolních elektromagnetických polí, díky tomu v koaxiálních kabelech nevzniká vzájemné rušení souběžných párů. Vnější vodič při nízkých frekvencích ($n \times 10^4 \text{ Hz}$) nedisponuje potřebnými hodnotami, a proto je tento jev ošetřen posílením dvou měděných pásků, jež jsou navinuty na vnějším vodiči, viz obr. 1.2.

Vnitřní vodič – průměr d

Vnější vodič – vnitřní průměr D , měděný pásek (0,1 mm)

Ocelový pásek – mechanická ochrana

Izolant – dielektrikum



Obr. 1.2: Řez koaxiálním kabelem [2].

V telekomunikacích jsou nejrozšířenější dva typy koaxiálních kabelů – tzv. malý koaxiální pár ($D/d = 4,4/1,2 \text{ mm}$) a střední koaxiální pár ($D/d = 9,5/2,6 \text{ mm}$). U koaxiálního páru platí $R < \omega L$.

Útlum koaxiálního kabelu je dán vztahem

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (1.1)$$

kde α představuje útlum v jednotkách dB/km. R odpor vedení (Ω), C značí kapacitu vedení (F), L indukčnost vedení (H), G označuje elektrickou vodivost vedení (SI).

Fázový posun je dán vztahem

$$\beta = \omega \sqrt{LC}, \quad (1.2)$$

kde β udává zpoždění fáze šířící se vlny na jednotku délky. Konstanta ω je $2 \times \pi$, C značí kapacitu vedení (F), L indukčnost vedení (H).

Charakteristická vlnová impedance je dána vztahem

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (1.3)$$

kde Z_c udává impedanci v (Ω). C značí kapacitu vedení (F), L indukčnost vedení (H).

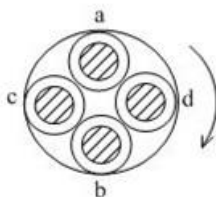
1.1.2 Symetrické vedení

Vodiče symetrického kabelového prvku vykazují vůči zemi téměř shodné impedance. Jedná se o vedení, v jehož rámci je každý vodič izolován zvlášť a zároveň je opleten i dalším vodičem. Takto je docílena eliminace a omezení působení magnetického pole (H) a intenzity elektrického pole (E). Se symetrickým vedením je možné se setkat mimo budovy v provedení telefonních párů a v budovách jako UTP či STP kabely. Dle norem (viz ČSN 34 7831 a ČSN 34 7851) se kabelová vedení dělí na „Sdělovací kabely místní“ s průměrem jader 0,4 mm až 0,8 mm a na „Sdělovací kabely dálkové“ o průměru 0,9 mm až 1,4 mm. Jiné dělení je možno realizovat podle frekvencí, tj. na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční kabely, nebo podle účelu na kabely datové a kabely pro přenos hlasu apod. Dále lze třídit kabely podle způsobu instalace na kabely úložné, závlačné (ukládají se do předem vybudovaných kabelovodů), závěsné, podmořské atd.

Podle předního odborníka na přenosová média Miloslava Filky dochází vzhledem k současnému technickému rozvoji a požadavkům na přenosovou techniku v praxi k vzájemnému prolínání výše uvedených dělení.

Dálkové kabely jsou často aplikovány do přístupových sítí. Tyto telekomunikační kabely jsou tvořeny kabelovou duší a ochranným obalem. Kabelová duše se sestává z vodičů stáčených v protisměrných polohách, stáčení může být provedeno také skupinově, s vložkami a s výplňovou izolací. Elementární prvky kabelu jsou tvořeny páry ze dvou vodičů, společně stočených s předepsanou délkou zkrutu. Podle hlediska a způsobu stáčení kabelů se potom rozlišují jednotlivé typy kabelů, a to křížové čtyřky a čtyřky DM.

Křížovými čtyřkami jsou nazývány kabely, jejichž čtyři žíly jsou spolu stočeny se stejnou délkou zkrutu. Žíly jsou označovány a – b, c – d tak, že protilehlými žílami je tvořen kmen. Graficky je tento způsob konstrukce zobrazen na obrázku 1.3. Křížové čtyřky se značí jako X.

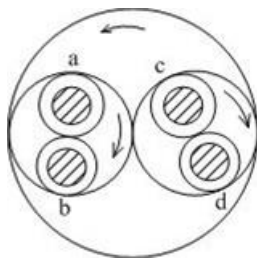


Obr 1.3: Křížová čtyřka.

Označení čtyřek DM je dáno abreviaturami sousloví Dieselhorst – Martin. Čtyřky DM jsou vyráběny tak, že nejprve je kroucen jeden pár s délkou zkrutu L1, poté druhý pár se zkrutem L2 a nakonec jsou oba páry spolu krouceny s délkou zkrutu L3. Konstrukce a stáčení čtyřky DM je znázorněno na obrázku 1.4.

Ochranné obaly mají za úkol chránit kabelovou duši proti vlhkosti, rušení a mechanickému poškození kabelu. Dle typu kabelu se liší konkrétní složení ochrany kabelu.

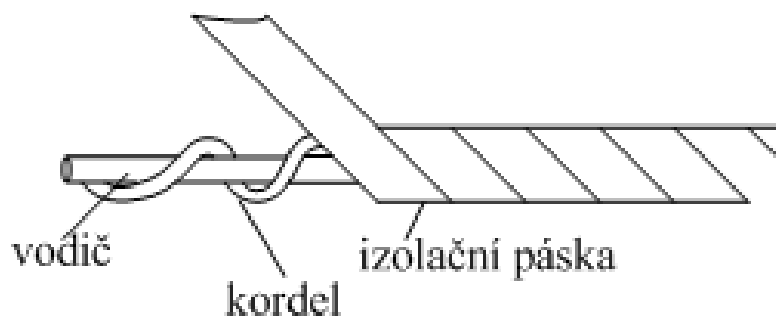
Úložné kabely určené do země jsou chráněny ocelovými pásky a jsou opatřeny četnými ochrannými obaly – tzv. armováním.



Obr 1.4: Čtyřka DM.

Za nejpoužívanější a nejvhodnější materiál pro výrobu kabelových vodičů je považována čistá elektrolytická měď. Průměry těchto jader u místních metalických kabelů jsou od 0,4 mm do 0,8 mm. U symetrických dálkových kabelů jsou voleny průměry od 0,9 mm do 1,4 mm. Volba průměru vodiče je provedena dle parametrů: délka linky, útlum a potřebné vlastnosti přenášeného signálu.

U izolace vodičů vzduch – papír jsou vodiče ovinuty jednou či dvěma vrstvami papírového pásu. U kabelů, jež jsou určeny pro dálkové spoje, je zvýšen podíl vzduchové vrstvy pomocí ovinutí vodiče kordelem a následnou vrstvou papírového proužku vinutého v překrývající spirále. Tímto krokem je zvýšena provozní kapacita a současně je zmenšen útlum, a umožňuje tak přenos do 240 kHz, viz obr. 1.5.



Obr 1.5: Izolace vodičů vzduch – papír.

Izolace vzduch – styroflex umožňuje přenos kmitočtu do 560 kHz a oproti izolaci vzduch – papír disponuje lepšími elektrickými vlastnostmi.

Izolace vysokotlakým polyetylénem se provádí u místních kabelů. V tomto případě se metalické vodiče izolují souvislou vrstvou vysokotlakého polyetylénu o tloušťce 0,2 mm až 0,4 mm. Pozitivní vlastností tohoto řešení je, že při průniku vlhkosti do kabelu jsou žíly lépe chráněny a tudíž je zachována funkčnost i při částečném poškození kabelu.

Nyní bude provedeno shrnutí přenosových vlastností a využití křížové čtyřky a čtyřky DM. Jak již bylo uvedeno výše, u analogového přenosu zvládají čtyřky kmitočty při izolaci vzduch – papír do 240 kHz, při izolaci vzduch – styroflex kmitočty do 560 kHz. Při digitálním přenosu mohou být křížové čtyřky využívány pro mnohem vyšší frekvence, běžně pro jednotky (PCM 1.řádu-E1) až desítky MHz. DM čtyřka se používala především pro nízkofrekvenční dálkové trasy. Ze struktury a technického řešení čtyřky DM vychází strukturovaná kabeláž pro místní síť.

1.1.3 Technologie systému xDSL

Metalické místní vedení v přístupových sítích bylo několik desítek let využíváno pouze pro přenos nízkofrekvenčního hlasového signálu v pásmu 300 – 3400 Hz (telefonní přípojka), i když umožňuje přenášet signály s mnohem větší šířkou frekvenčního pásma. Postupem času a s rozmachem telefonních přístrojů byly zaváděny systémy pro přenos více hovorů po jednom telefonním kanálu. S rozvojem Internetu se dostal do popředí analogový přenos dat pomocí modemů, kdy hovor i data byly přenášeny pomocí jednoho kabelového páru. Byly využity kmitočtové výhybky, tzv. splityry. Nevýhodou tohoto systému se jeví jeho malá přenosová rychlost (128 kb/s). Tímto řešením byl umožněn současný přenos dat a vedení telefonního hovoru [2].

V lokalitách, v nichž nechybí běžná telefonní přípojka, byl analogový přenos pomocí modemů nejrozšířenějším a nejefektivnějším vysokorychlostním datovým přenosem. Tento systém se nazývá Digital Subscriber Line a je označován zkratkou xDSL.

Původní využití xDSL technologie bylo původně určeno pro přenos televizního signálu. S rostoucí poptávkou po internetové přípojce však dnes tato technologie slouží především jako přípojka pro internet. Rychlost přenosu je limitována vzdáleností od

telefonní ústředny. Výhoda technologie xDSL spočívá v možnosti využití stávajícího metalického vedení, čímž zároveň odpadá vysoká finanční náročnost a složitá instalace kabelů při realizaci. Systémy xDSL jsou neustále vyvíjeny za účelem dosažení vyšších přenosových rychlostí.

Tabulka 1.1 uvádí, jaké jednotlivé typy přípojek jsou v současné době rozlišovány v rámci systému xDSL. Systémy xDSL se člení podle symetrie šířek frekvenčních pásem (downstream a upstream) a typu provozu [7].

Tab. 1.1: Přehled typů přípojek systémů xDSL.

Typ přípojky	Typ provozu	Přenosová rychlost (downstream) Mb/s	Přenosová rychlost (upstream) Mb/s	Orientační dosah (km)
IDSL	Symetrický	0,128	0,128	7
HDSL	Symetrický	2	2	3
SDSL	Symetrický	až 2,3	až 2,3	2 až 5
SHDSL	Symetrický	až 2,3	až 2,3	2 až 7
ADSL	Asymetrický	až 16	až 2	2 až 5
VDSL	Asymetrický	až 52	až 6,4	0,3 až 1,5
VDSL	Symetrický	až 26	až 26	

V nabídkách operátorů je pro koncového uživatele dostupný asymetrický typ provozu, jenž umožňuje maximální rychlost stahování.

1.1.4 Strukturovaný kabelážní systém

Slaboproudé telekomunikační rozvody realizované pomocí SIKFY kabelů v budovách byly v průběhu 90. let postupně nahrazovány systémem strukturovaných kabeláží, jenž umožňuje přenos hlasu i dat.

Strukturované kabeláže byly průběžně vyvíjeny se zřetelem k požadavku na zvyšování přenosové šířky pásma – od kategorie 3, jež je určena pro přenos hlasu, až po kategorii 7. Díky cenové dostupnosti a splnění požadavku na 10Gbps datový přenos je v současnosti nejrozšířenějším kabelážním systémem kategorie 5e. Nejznámějšími a zároveň nejrozšířenějšími jsou pak kabelážní systémy Belden, Systimax či Alcatel cabling system.

Strukturovaná kabeláž se skládá z páteřního rozvodu realizovaného převážně optickým kabelem. Lze však použít i metalický kabel. Tento páteřní rozvod je veden z hlavního rozvaděče do podružných rozvaděčů, umístěných v jednotlivých oblastech, nejčastěji v patrech budovy. Metalický kabel je ukončen pomocí konektoru RJ45 na patch panelech, při použití optického kabelu je ukončení požadováno často na konektorech SF nebo CS. Z podružných rozvaděčů a z patch panelů s konektory RJ45 je strukturovaná kabeláž vedena metalickými kabely do jednotlivých přípojných bodů – zásuvek s konektory RJ45. Jednotlivé rozvaděče jsou osazeny aktivními prvky přepínači neboli switchy. U metalického vedení strukturované kabeláže není přípustné, aby vzdálenost mezi jednotlivými zakončeními překročila 90 m.

Jednotlivé úseky metalických i optických tras jsou proměřovány. Naměřené parametry jsou následně porovnány, čímž je ověřeno splnění normy strukturované kabeláže pro konkrétní kategorii.

1.2 Optická přenosová média

Přenos informace optickým vláknem umožňuje světelný paprsek. Princip vedení světla je jednoduchý – světelný paprsek dopadá na rozhraní dvou prostředí s rozdílnou optickou hustotou. Z výše uvedeného vyplývá, že jde o rozdílný index lomu, kdy se zčásti láme a prostupuje paprsek z jednoho prostředí do druhého a kdy se z části paprsek odrazí, a vrací se tak zpět do prostředí, z něhož pochází. Intenzita odrazu paprsku je ovlivněna úhlem, v němž paprsek do vlnovodu přichází. Každé optické rozhraní má svůj mezní úhel odrazu. Tato hodnota udává úhel, po němž dojde k tzv. totálnímu odrazu, tj. k situaci, při níž dojde k 100% odrazu světla a současně nedojde k opuštění

prostředí, z něhož paprsek přichází. Právě princip vnitřních odrazů využíváme u optických vláken.

Optické vlákno je ze skla, plastu, nebo je vyrobeno kombinací obou materiálů, jež prostřednictvím světla přenášejí signály. Optické vlákno disponuje těmito klíčovými vlastnostmi: malý útlum při přenosu, vysoká přenosová kapacita a odolnost vůči elektromagnetickému rušení. Tyto vlastnosti umožňují přenos vysoké kapacity dat, a proto jsou využívány především u dálkových spojů.

V rámci kapacity přenosu je dosahováno až 111 Gbps. V praxi se častěji setkáme s přenosovou rychlostí 10 nebo 40 Gbps. Každým vláknem může být přenášeno mnoho nezávislých signálů, každý signál pak s použitím jiné vlnové délky světla. Vlákno je imunní vůči elektrickému rušení. Dalším výrazným kladem tohoto systému je fakt, že optické kabely nejsou elektricky vodivé. V případě úderu blesku jsou jednotlivé aktivní prvky od sebe izolovány. V jednom optickém kabelu může být i 144 vláken, častěji využívají kabely s menším počtem vláken [4].

Přestože mohou být vytvořena optická vlákna jak ze skla, plastu či kombinací obou materiálů, tak při aplikaci na velkou vzdálenost je vždy instalováno optické vlákno vyrobené ze skla, a to z důvodu nižšího optického útlumu skla. Rozlišují se dva typy optických vláken – jednovidové a mnohovidové vlákno.

Jednovidové vlákno vyrobené ze skla je použito na páteřní vzdálené trasy a pro vyzařování optického paprsku je použit laser.

Mnohovidové vlákno se užívá i na kratší vzdálenosti, konkrétně do cca 600 metrů, jako světelný zdroj je použita LED dioda.

Další variantou technologického řešení optického kabelu je systém WDM, jenž umožňuje po jednom vlákně provozovat obousměrný přenos.

1.2.1 Složení optického vlákna

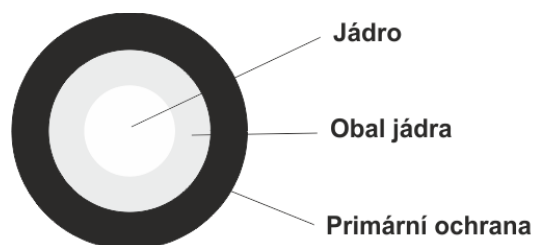
Optické vlákno se skládá ze tří elementárních prvků, a to z jádra, obalu jádra a primární ochrany, viz obr. 1.6.

Jádro představuje nejdůležitější prvek optického vlákna a je určeno pro vlastní přenos dat. Průměr jádra optického vlákna přímo závisí na druhu kabelu. Běžně

používanými rozměry jsou u jednovidových vláken 9,5 μm a u mnohovidových vláken – 50 μm nebo 62,5 μm .

Obal jádra optického kabelu má za úkol hlavní ochranu a zpevnění jádra. Spolu s jádrem má průměr 125 μm .

Jako primární ochrana je označována vrstva, jež slouží k základní ochraně optického vlákna před nepříznivými účinky okolního prostředí. Vrstva je nejčastěji tvořena tvrzeným akrylátovým lakem. Celkový průměr s jádrem a obalem jádra je kolem 250 μm .



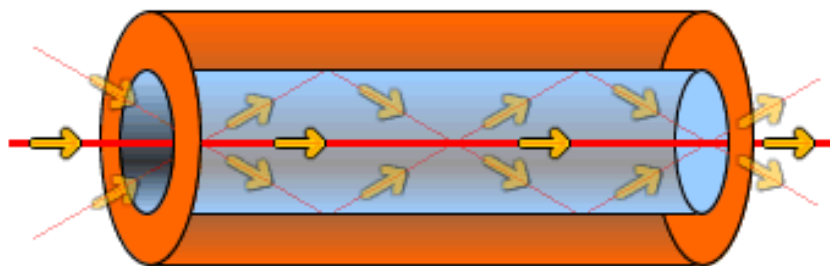
Obr. 1.6: Jádro, plášť a primární ochrana optického kabelu.

Dále může být optické vlákno chráněno sekundární ochranou tvořenou z plastických hmot, jež zvyšují průměr na 900 μm . K této vrstvě jsou přidány další vrstvy, mající hlavní funkci ochránit kabel hlavně proti mechanickému namáhání.

1.2.2 Mnohovidová vlákna – multimode

U mnohovidových vláken se běžně používají optické kabely s průměrem 50 a 62,5 μm . Typickou vlnovou délkou pro gigabitové aktivní prvky je 850nm a pro 100Mbitové je to hodnota 1310 nm.

Technologie, jež se využívá pro mnohovidové vlákna, je finančně poměrně levná, a to jak u samotného kabelu, tak i u generátorů a detektorů světla. Jako generátor světla lze použít u mnohovidových vláken například LED dioda. Generátor vyzařuje světelné impulsy, jež tvoří vidy neboli paprsky, viz obr. 1.7.



Obr. 1.7: Řez mnohovidovým vláknem.

Tyto vidy se odrážejí v různých úhlech. K detektoru však dorážejí jednotlivé vidy s určitým zpožděním mezi sebou, což je nazýváno vidovou disperzí. Tato disperze má za následek zkreslení signálu a týká se zejména mnohovidových vláken se skokovou změnou indexu lomu. Jelikož toto zkreslení lineárně roste s délkou vlákna, jsou mnohovidová vlákna aplikována na trasy s vzdáleností do 2 km.

Mnohovidová vlákna s plynulou změnou indexu lomu jsou tvořena z tenkých vrstev, lišících se indexem lomu. Čím je paprsek dál od osy jádra, tím je index lomu menší, a postupně se tak paprsek "vrací zpět" do středu jádra. Tato vlákna tedy netrpí vidovou disperzí, takže vyslané paprsky dorazí ke konci vlákna zhruba ve stejné časové okamžiky. Typický útlum těchto mnohovidových vláken je 2 až 10 db/km při vlnové délce 850 nm [1].

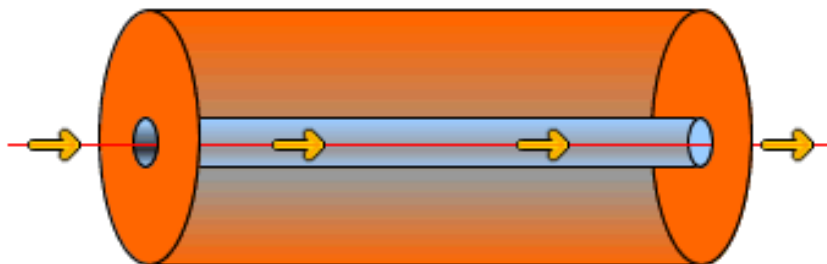
Mnohovidová vlákna se nejčastěji používají u LAN sítí. Vzhledem k tlustšímu jádru optického kabelu se lépe na vlákno připevňují konektory.

1.2.3 Jednovidová vlákna – singlemode

Jednovidová vlákna se používají pro optické kabely s průměrem jádra pouhých 9 μm . Typickými vlnovými délkami jsou v současné době 1310 nm a 1550 nm. Signál je tvořen jedním videm, který je šířen podél osy jádra, zároveň se odráží při ohybu vlákna, viz obr. 1.8.

Pro vyzařování a příjem u jednovidových vláken je nutné kvalitnějších, tj. i finančně náročnějších zařízení. V převážné míře se používají lasery. U těchto vláken je využívána vlnová délka 1310 nm, jež má útlum 0,35 dB/km, a 1550nm s útlumem kolem 0,2 dB/km. Jednovidová vlákna se používají zejména na dlouhých trasách, tj.

v rozsahu zhruba 10 km.



Obr. 1.8: Řez jednojáderným vláknem.

Optická vlákna jsou určena pro single duplexní přenos. Pokud je žádoucí realizovat fullduplexní přenos, je zapotřebí mít k dispozici dvě vlákna, tj. jedno vlákno pro příjem a druhé pro vysílání. S příchodem Wavelength-division multiplexing (WDM) vzniklo tzv. vlnové multiplexování, přičemž je možné použít jedno vlákno pro fullduplexní komunikaci. U WDM jsou přenosy uskutečněny světlem v různých vlnových délkách. WDM je aplikováno právě u jednojáderných vláken, kdy je použita souběžně pro příjem 1550 nm vlnová délka a pro vysílání vysílání vlnová délka 1310 nm. Kromě WDM se uplatňují i další metody, např. CWDM – coarse wavelength division multiplexing a DWDM – Dense wavelength division multiplexing, u nichž je využito více vlnových délek. Tato skutečnost přináší zvýšení propustnosti. Daný fakt je často aplikován hlavně u již instalovaných optických vláken.

1.3 Bezdrátová přenosová média

V lokalitách s horší dostupností se často setkáváme s bezdrátovým páteřním spojem. U bezdrátového řešení je nezbytným předpokladem pro funkčnost spoje přímá viditelnost mezi bodem vysílacím a přijímacím bodem. Nemůže-li být tento předpoklad zajištěn jednorázově, je nutno funkčnost spoje zajistit pomocí volby jednoho nebo několika skoků. Výhodou této bezdrátové technologie je skutečnost, že při vytváření bezdrátové sítě není třeba provádět žádné výkopové práce a zajišťovat příslušné souhlasy majitelů pozemků a další legislativně právní dokumenty a opatření. Vlastní

realizace bezdrátového spoje je proto ve srovnání s klasickou pokládkou kabelů značně rychlejší. Bezdrátový přenos tak představuje ekonomicky méně náročný způsob, jak dostat vysokorychlostní přenos dat a hlasu do potřebné lokality. Některá bezdrátová zařízení dle požadavku umožňují navýšení přenosové kapacity prostřednictvím SW změny a bez nutnosti výměny celého zařízení [5].

1.3.1 Optické bezdrátové spoje

Free-Spaces Optics (FSO) – optika bez kabelů je další variantou, jak přenášet vysokorychlostní datovou kapacitu. Tato technologie nabízí oproti optickým vláknům vyšší rychlost, avšak s omezením vzdálenosti. Jelikož sklo má vyšší odpor, má i FSO vyšší rychlost, a skutečně se tak přibližuje rychlosti světla. Wireless Optics Network (WON) – bezdrátové optické sítě umožňují širokopásmové optické přenosy vzduchem s využitím neviditelných paprsků, přičemž tyto paprsky neškodí očím. Nejčastěji se přenos pohybuje kolem 150 Mbps nebo 600 Mbps.

Vzhledem k dostupnosti optických prvků se používají pro přenos vzduchem následující vlnové délky: dlouhé vlny kolem 1550 nm (194 THz) a krátké vlny s přibližnou hodnotou 800 nm (375 THz). Signály na těchto vlnových délkách patří do infračerveného spektra, a jsou proto neviditelné. Bezpečnost laserového přenosu pro člověka je u výrobců vždy garantována testy a certifikáty na konformitu s normou IEC 60825–1.

Požadavkem u FSO je přímá viditelnost, a to úplně volná cesta bez překážek mezi vysílačem a přijímačem. Největším kritickým parametrem FSO je náhodná překážka, v tom okamžiku totiž dochází k přerušení spojení. Po obnovení spojení je u těchto spojů většinou nastaveno automatické opětovné zasílání ztracených či zničených paketů.

Spolehlivost přenosu a s ním spojená vzdálenost mají u bezdrátové optiky vztah nepřímé úměry: čím kratší vzdálenost, tím vyšší spolehlivost. Doporučená vzdálenost pro bezproblémový přenos je ve stovkách metrů. Nevýhodou této technologie je fakt, že FSO je velmi závislá na atmosférických vlivech, takže např. hustou mlhou nebo intenzivním deštěm je dramaticky zmenšována přenosová vzdálenost.

Finanční náročnost FSO dnes začíná dle rozsahu realizovaného projektu řádově

na několika desetitisících (maximálně stovkách tisíců) korun. Finální cenu je vždy vhodné porovnat s náklady, jež by byly vynaloženy na pokládku optických kabelů, tj. s řešením odpovídajícím svou kapacitou optickým bezdrátovým sítím.

1.3.2 Radioreléové bezdrátové spoje

Radioreléové spoje (RR) jsou obecně radiovémi zařízeními, jež umožňují bezdrátový přenos elektrických signálů mezi dvěma body. Oproti optickým bezdrátovým spojmům mají větší dosah, a to až několik desítek kilometrů.

Radioreléové spoje jsou používány většinou jako náhrada klasického metalického nebo optického kabelového vedení tam, kde by byla realizace kabelového vedení technicky složitá či nemožná nebo příliš nákladná. Možnosti jejich použití jsou rozsáhlé, nejčastěji a také již relativně dlouho jsou aplikovány např. při distribuci rozhlasového a televizního signálu mezi jednotlivými vysílači a rozhlasovými a televizními studiemi, dále pak při řešení příčkových propojení mezi telefonními uzly nebo ústřednami [8].

Stanice RR spoje se většinou skládá z parabolické antény, usměrňující vysílaný paprsek směrem ke druhé stanici spoje, dále z vnější jednotky (přijímače/vysílače) a z vnitřní jednotky, jež bývá vybavena příslušným rozhraním pro připojení spoje do požadované komunikační infrastruktury, viz obr. 1.9.



Obr. 1.9: Bezdrátový distribuční bod.

Parabolické antény RR spojení jsou používány v průměrech 0,3 m, 0,6 m, 0,9 m, 1,2 m, 1,8 m a větší, a to v závislosti na požadované vzdálenosti přenosu, výsílacím výkonu, kapacitě přenosu, požadované kvalitě přenosu a případně dalších technických parametrech. Mezi anténami obou stanic spoje musí být zajištěna přímá optická viditelnost. Dále je nezbytné, aby vyzařované paprsky obou antén byly velice přesně nasměrovány na přijímací plochy protějších antén spoje – antény jsou tedy vybaveny zařízením pro přesné nastavení azimutu, elevaci a fixaci tohoto nastavení.

Vnější jednotky, označované jako outdoor unit (zkráceně ODU), obsahují současně mikrovlnný vysílač, přijímač a další pomocné obvody. Vnější jednotky jsou umístěny buď integrovaně přímo zezadu na anténě (především u malých antén), nebo jsou připevněny zvlášť poblíž antény a s anténou jsou spojeny speciálním krátkým pružným nízkoztrátovým vlnovodem. S vnitřní jednotkou jsou vnější jednotky spojeny většinou jedním stíněným krouceným kabelem (zkráceně SFTP) či koaxiálním kabelem. ODU jednotky nepotřebují zvláštní zdroj pro napájení, poněvadž bývají napájeny přímo po komunikačním kabelu.

Vnitřní jednotky, označované jako indoor unit (IDU), obsahují kromě obvodů pro spolupráci s ODU již příslušná datová nebo telekomunikační rozhraní, sloužící pro připojení spoje k navazujícím systémům komunikační infrastruktury. Vnitřní jednotka většinou je vybavena i rozhraním pomocných nízkokapacitních a hovorových služebních kanálů a rozhraním pro připojení konfigurační konzole místního nebo dálkového dohledu. IDU bývá napájena napětím 48 V, případně 230 V.

Vývoj v posledních letech vedl výrobce k nové ekonomické koncepci, kdy je u některých řad spojení sdružena vnější a vnitřní jednotka do jediné, tato je pak umístěna přímo u anténního systému. Vnitřní jednotka v tomto případě odpadá úplně, nebo je omezena již jen na sdružovač napájecího napětí a uživatelských dat a je vybavena přepětovými ochranami. Uživatelská data jsou vedena datovým kabelem od vnější jednotky přímo k navazujícím aktivním prvkům (server, telefonní ústředna atd.). RR spoje tohoto typu jsou v hojné míře nasazovány v městských aglomeracích jako vhodné ekonomické řešení tzv. „poslední míle“. Nejsou vhodné pro exponované lokality, jež disponují zvýšeným rizikem přímého úderu bleskem a také pro místa s velkou koncentrací dalších RR spojení z důvodu jejich vzájemného rušení.

Většina v současné době používaných radioreléových spojů je určena pro účely středně a vysokokapacitních přenosů dat nebo telefonních hovorů a je provozována v mikrovlnných kmitočtových pásmech. Pro komerční využití se běžně využívá několik diskrétních vyhrazených mikrovlnných pásem. Tato pásma lze rozdělit na tzv. „volná“ pásma a „regulovaná“ pásma [13]. Ve volných pásmech není prováděno ústřední plánování ani evidence jednotlivých spojů, používání těchto pásem není ani zpoplatňováno, spoje jsou budovány na základě tzv. všeobecných oprávnění, vydávaných Českým telekomunikačním úřadem (ČTÚ). V těchto volných pásmech regulační orgán ČTÚ nezajišťuje ochranu proti rušení nebo interferencím od jiných spojů v dané lokalitě a platí zde pouze pravidlo, že případné rušení musí být odstraněno tím subjektem, jenž vybudoval spoj později. Pro provoz v regulovaných pásmech je třeba nejdříve u regulačního orgánu ČTÚ zajistit přidělení nevyužitých pracovních kmitočtových „kanálů“ v lokalitě instalace, povolení k provozu spoje a následně jsou provozovatelem spoje hrazeny regulačnímu orgánu roční poplatky za využívání přidělených individuálních oprávnění na kmitočty. Protože přidělování nevyužitých kmitočtových kanálů je ústředně plánováno a jejich užití zpoplatňováno, je provozovateli spoje v tomto případě zajištěna ochrana proti rušení, způsobenému provozem jiných spojů v dané lokalitě. Stoprocentní ochranu spoje lze zajistit pouze tzv. územním rozhodnutím o ochranném pásmu, vydaným příslušným stavebním úřadem na základě žádosti provozovatele spoje [9].

Nyní bude provedena stručná charakteristika jednotlivých často používaných mikrovlnných pásem:

2,4 GHz – je „volné“ pásmo, určené pro datové spoje point-to-point a point-to-multipoint, pracující v režimu tzv. rozprostřeného spektra. Z důvodu masového nasazení těchto pojítek se zvláště ve velkých aglomeracích projevují velké potíže se vzájemnou interferencí pojítek.

3,5 GHz – je „regulované“ pásmo, určené pro datové a telekomunikační spoje převážně point-to-multipoint (lze ale i point-to-point), toto pásmo je z větší části rozděleno mezi několik velkých poskytovatelů veřejných telekomunikačních služeb s celorepublikovou působností Fixed Wireless Access (FWA), kteří samostatně v rámci své části pásma regulují jeho kanálové využití. Omezeně lze část tohoto pásma

přidělovat individuálně pro menší lokální soustavy. Podmínkou přidělení kmitočtů je povolení ČTÚ k poskytování veřejných telekomunikačních služeb.

5 GHz – je „volné“ pásmo, určené pro datová pojítka point-to-point a point-to-multipoint, pracující v režimu tzv. rozprostřeného spektra. V tomto pásmu lze provozovat pojítka Wireless Fidelity (Wi-Fi). Pásmo je vhodné převážně pro interiérové aplikace, možné jsou i externí aplikace. Ve větších městech je situace v tomto pásmu obdobná stavu v pásmu 2,4 GHz.

6 GHz – je „regulované“ pásmo, určené pro RR spoje point-to-point zvláště s vysokými přenosovými kapacitami a na dlouhé vzdálenosti. Ve srovnání s ostatními regulovanými pásmy jsou v tomto pásmu výhodné nízké provozní poplatky stanovené ČTÚ.

7 GHz – je „regulované“ pásmo, určené pro RR spoje point-to-point, a to především na velké vzdálenosti. Z hlediska obsazení kanálů zde dochází k technickému omezení pro realizaci spojů s vysokou přenosovou kapacitou.

10 GHz – je „volné“ pásmo, určené pro RR spoje point-to-point na krátké i dlouhé vzdálenosti. Vysílací výkon je zde omezen na max. 2 mW, další omezení představuje maximální šířka obsazeného kanálu 28 MHz. S ohledem na vysokou četnost nasazování těchto pojítek pro distribuci internetu ve velkých metropolích a hustě obydlených lokalitách se budování dalších těchto spojů z důvodu vzájemného rušení jeví jako problematické. Přestože se jedná o „volné“ pásmo, tak seriózní dodavatelská firma před vlastní realizací zakázky na zhotovení nového spoje vždy nejprve provede měření radiového pozadí u propojovaných lokalit a teprve na základě těchto konkrétních získaných výsledků navrhne pro budoucí spoj v příslušné lokalitě vhodný kmitočtový pár.

11 GHz – je „regulované“ pásmo pro RR spoje point-to-point na střední a delší vzdálenosti a pro vyšší přenosové kapacity. Ve srovnání s ostatními regulovanými pásmy jsou v tomto pásmu stanoveny ČTÚ nízké provozní poplatky.

13 GHz – je „regulované“ tzv. „univerzální“ pásmo, určené pro RR spoje point-to-point.

15 GHz – bývalo „regulovaným“ tzv. „univerzálním“ pásmem pro RR spoje,

v současné době je vyklíženo a nepřiděluje se, v budoucnu bude využito výhradně pro vojenské účely.

18 GHz – je „regulované“ tzv. „univerzální“ pásmo, určené pro RR spoje point-to-point.

23 GHz – je „regulované“ pásmo, určené pro RR spoje point-to-point, vhodné na střední a kratší vzdálenosti a vyšší přenosové kapacity.

24 GHz – je „volné“ pásmo, určené pro různé aplikace monitorování, dálkového ovládání apod., lze je využít i pro datové přenosy point-to-point velmi krátkého dosahu.

26 GHz – je „regulované“ pásmo, určené pro datové a telekomunikační spoje převážně point-to-multipoint (lze ale i point-to-point). Toto pásmo je z větší části rozděleno mezi několik velkých poskytovatelů veřejných telekomunikačních služeb s celorepublikovou působností Wireless Local Loop (WLL), kteří si samostatně regulují kmitočtové přiděly.

38 GHz – je „regulované“ pásmo, určené pro RR spoje point-to-point, vhodné zvláště pro kratší spoje např. v rámci města a pro vysokokapacitní spoje.

40 GHz – je „regulované“ pásmo, určené převážně pro point-to-multipoint spoje s širokými možnostmi uplatnění, univerzální pásmo – Multimedia Wireless Systéme (MWS) pro datové, telekomunikační, video a smíšené aplikace.

80 GHz – je „volné“ pásmo, určené pro point-to-point spoje pro vzdálenosti do 2 km a velmi vysoké přenosové kapacity. Výkon vyzářený anténou je zde omezen na max. 45 dBW.

Kromě kmitočtového pásma, v němž je spoj provozován, je pro provozovatele velice důležitým parametrem tzv. šířka zabraného pásma, a to z toho důvodu, že právě zabranou šířku pásma regulační orgán zpoplatňuje, tudíž mezi šířkou zabraného pásma a stanovenými poplatky funguje přímá úměra. Přesněji řečeno, není zpoplatňována přímo šířka zabraného pásma, ale počet zabraných nebo aspoň částečně zabraných standardních kanálů jednotného kmitočtového rastru stanoveného ČTÚ pro každé kmitočtové pásmo (např. pokud je spojem zabíráno 3,5 kanálů rastru, poplatek je stanoven za 4 zabrané kanály rastru) [12].

Jak jsme již uvedli výše, duplexní spoje potřebují pro svůj provoz v rámci

určeného pásma dva kmitočtové intervaly o definované šíři (jeden pro vysílání z bodu A do bodu B a druhý pro vysílání z bodu B do bodu A). Tato šíře zabraného pásma je dána jednak požadovanou přenosovou kapacitou spoje (tj. čím větší je přenášená kapacita, tím větší bývá při stejném způsobu modulace i šíře zabraného pásma), a dále pak způsobem modulace signálu daném konstrukcí pojítka. Technologicky vyspělejší modulace mohou šířku zabraného pásma výrazně snížit, často však při mnohastavových modulacích se projeví sníženou citlivostí spoje, jejímž přímým důsledkem je pak následný kratší dosah spoje. Některá pojítka jsou dokonce dodávána s volitelným způsobem modulace signálu, a uživatel si tak může vybrat buď mezi mnohastavovou modulací s levnějším provozem ale kratším dosahem, nebo méněstavovou modulací s delším dosahem ale dražším provozem.

1.4 Předběžná ekonomická rozvaha pro návrh na výstavbu páteřní trasy do vybrané odlehlé oblasti

V této kapitole se budeme věnovat ekonomické náročnosti výstavby páteřní trasy. Bude provedeno srovnání kabelové, tj. metalické a optické technologie, a bezdrátové technologie. Dále bude rozpracován návrh vhodné technologie pro pokrytí vybrané odlehlé oblasti.

Vedle přenosové kapacity je pro poskytovatele při realizaci klíčovým ukazatelem finanční náročnost výstavby. Na základě důkladné analýzy a po zvážení jednotlivých variant řešení byl vytvořen rozpočet pro realizaci výstavby ve vybrané lokalitě v nepokryté oblasti. V tabulce 1.2 je provedena cenová kalkulace pro výstavbu páteřní trasy do vybrané odlehlé oblasti. Tabulka obsahuje náklady přímo spojené s výstavbou, tj. cenu přenosového média a cenu za práci za vlastní realizaci zakázky. Vzhledem k tomu, že pro aplikaci a ověření teoretických poznatků byla vybrána nepokrytá odlehlá oblast, vzdálenost páteřní trasy byla stanovena na 5000 m. Z tohoto důvodu, tj. kvůli velké vzdálenosti, automaticky odpadá možnost řešit výstavbu pomocí optického bezdrátového pojítka.

Jak vyplývá z údajů v tabulce 1.2, celkové náklady spojené s výstavbou páteřní trasy vycházejí finančně nejlépe pro realizaci využití bezdrátových přenosových medií. U bezdrátového řešení jsme počítali s využitím volného kmitočtového pásma 10GHz,

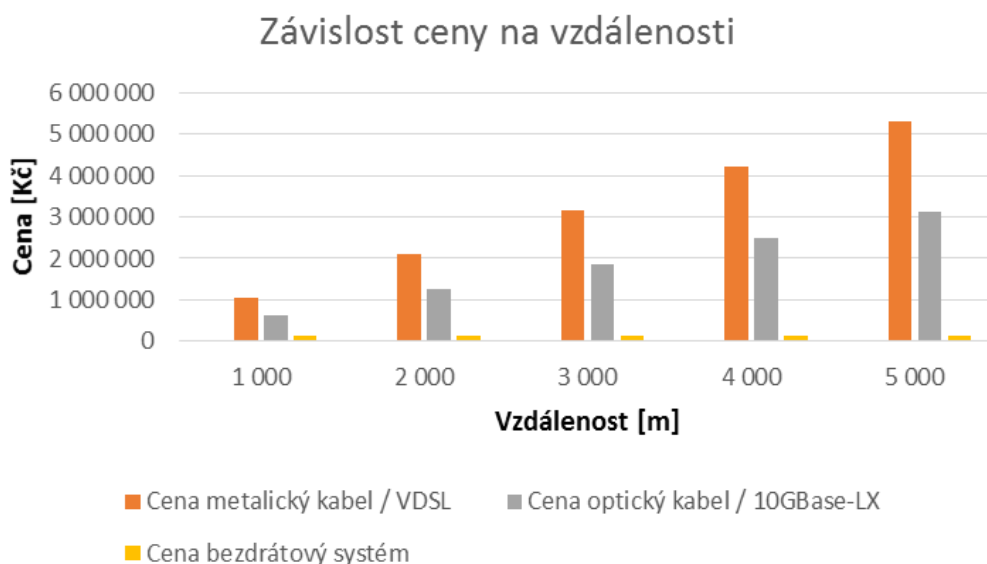
jenž je v Česku velmi často aplikováno na spoje pro střední i delší vzdálenosti. Tento námi vybraný a navržený spoj má stanovenou maximální přenosovou kapacitu v hodnotě 90Mbps full duplexně. U kabelových systémů, a to jak metalických tak optických, se jeví jako největší komplikace nutnost provedení výkopových prací a prací spojených s uložením kabelu do země. Kromě větší pracnosti realizace této varianty je nezbytné, aby byl kompletně vyřešen i legislativně právní rámec (např. je nutno právně ošetřit potřebná povolení a souhlas vlastníků parcel, přes jejichž parcely trasa prochází či se jich jakýmkoli způsobem dotkne). V případě jakýchkoli nestandardních situací, např. v oblasti vlastnických práv apod., totiž může dojít k neúměrnému časovému zdržení, popř. časové průtahy se mohou promítnout do prodražení celé výstavby. Legislativní náročnost celého procesu tak fakticky a zásadně omezuje rozmach budování optických sítí.

Tab. 1.2: Porovnání ekonomické náročnosti pro jednotlivá přenosová média pro vzdálenost 5 000 m.

	Zemní práce cena za 1m (hloubka 1m) střední třída tvrdosti zeminy	Cena za 1m přenosového média s chráničkou	Cena za pokládku 1 m přenosového média	Celkem
Metalické kabely TCEPKPFLE 50x4x0.8	400 Kč	533,00 Kč	125,00 Kč	5 290 000,00 Kč
Optické kabely Singlemode (SM) vlákno (9 μm OS1) 12 vláken	400 Kč	99,00 Kč	125,00 Kč	3 120 000,00 Kč

	Stožár 2x	Mikrovlnný spoj 10 GHz, Alcoma MP91 1x	Instalace 2x	Celkem
Bezdrátové systémy 1 skok	40 000,00 Kč	115 900,00 Kč	12 000,00 Kč	167 900,00 Kč

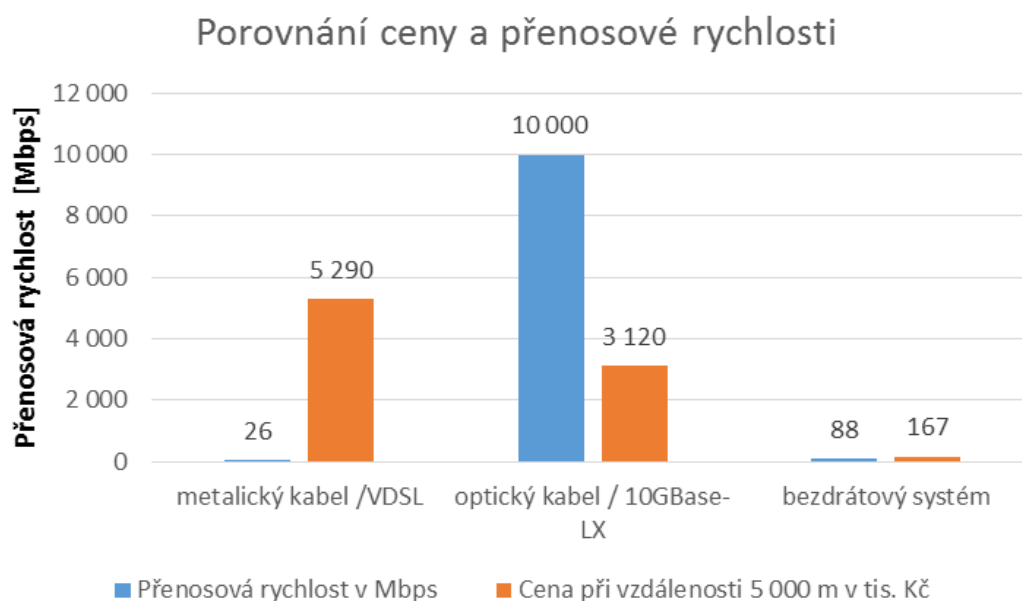
Kromě instalace kabelů do země formou výkopových prací se nabízí varianta zavěsit optický kabel např. na stávající elektrické vedení nebo na systém nadzemního uličního osvětlení. I v rámci této varianty je však nezbytné ve shodě se současnou legislativou vše smluvně ošetřit (např. je nutno uzavřít smlouvu ohledně věcného břemene mezi vlastníkem trasy a majitelem stožárů aj.). Velkým záporem tohoto „nadzemního“ řešení je také nežádoucí estetický vliv na krajinu a životní prostředí. Jako další zápor tohoto řešení lze uvést poměrně jednoduchou možnost poškození a vyšší vstupní náklady, vyplývající již se samotné pořizovací ceny samonosného optického kabelu. Závislost ceny na vzdálenosti páteřní trasy je graficky znázorněna na obr. 1.10.



Obr. 1.10: Závislost ceny na vzdálenosti.

Bezdrátové řešení má jeden zásadní a kritický parametr, a to nutnost zajištění přímé viditelnosti mezi oběma stranami spoje, přičemž při návrhu vhodného spoje je zapotřebí zohlednit požadovanou vzdálenost. Pokud toto hledisko není dodrženo, tak bezdrátový spoj se jeví jako nestabilní, a tudíž při snížené kvalitě atmosférických podmínek, tj. při nízké viditelnosti, sněžení, mlze či dešti, hrozí, že se spojení zcela rozpojí.

Porovnání ceny a přenosové rychlosti v provedení metalický kabel, optický kabel a bezdrátový systém je graficky znázorněn na obr. 1.11.



Obr. 1.11: Porovnání ceny a přenosové rychlosti.

Metallické řešení se vzhledem k dnešním vysokým technickým nárokům na rychlost a kvalitu přenosu dat aplikuje méně. Další omezení u metallického řešení představují i větší finanční náklady na vlastní realizaci metallického vedení, kdy je přitom ve srovnání s optickými kabely u metallických kabelů dosahováno nízké maximální přenosové kapacity. I když u metallických kabelů probíhá neustále vývoj xDSL systému, a dochází tak k navyšování přenosové rychlosti, omezení vzdáleností je stále limitujícím faktorem.

V roce 2014 byl spuštěn projekt Evropské unie, jenž má za cíl podpořit právě budování kabelové optické infrastruktury v evropském společenství. Optická vlákna jsou z dnešního pohledu i z hlediska blízké budoucnosti technologie, umožňující zvyšování maximální přenášené kapacity např. pomocí WDM.

2 NÁVRH POKRYTÍ DATOVÝM SIGNÁLEM ODLEHLÉ OBLASTI A JEHO REALIZACE

V předchozí kapitole byla podána základní teoretická charakteristika vybraných přenosových medií. Na základě analýzy získaných faktů, požadavků na přenosovou kapacitu a posouzení finanční náročnosti byl proveden výběr technologie pro distribuci dat v odlehlé oblasti – konkrétně v lokalitě místní městské části Brno – Útěchov. Tato praktická část bakalářské práce se věnuje popisu postupu a vlastnímu návrhu výstavby páteřní trasy pomocí mikrovlnného spoje a distribuční bezdrátové sítě.

2.1 Stanovení hlavního cíle a parciálních cílů návrhu pokrytí datovým signálem odlehlé oblasti

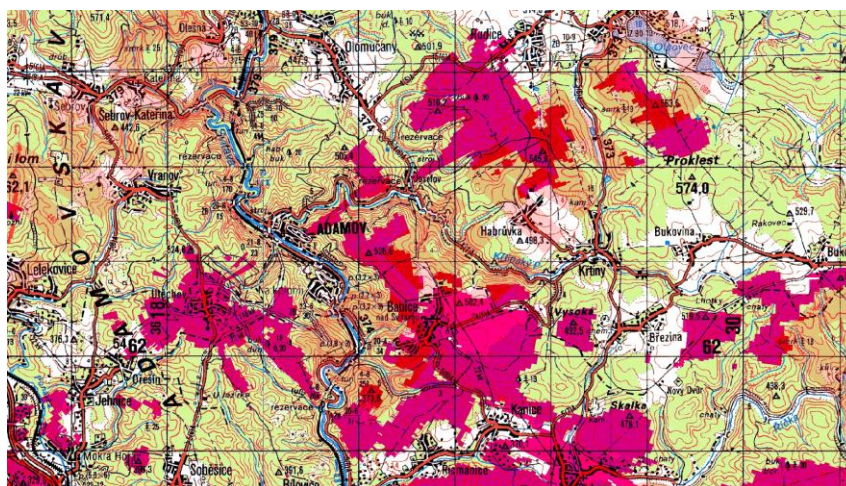
Hlavním cílem návrhu pokrytí datovým signálem odlehlé oblasti v praktické části bakalářské práce je navrhnout a vytvořit páteřní konektivitu a dovést ji do námi vybrané odlehlé oblasti, tj. místní části Brno – Útěchov s požadovanou kapacitou pro zajištění příjmu vysokorychlostního internetu konečným uživatelům. Jako první parciální cíl bude nezbytné a najít bod, z něhož bude distribuována páteřní konektivita. Druhý parciální cíl spočívá ve volbě vhodného bodu s přímou viditelností na bod s páteřní konektivitou. V rámci třetího parciálního cíle bude proveden návrh umístění distribučních bodů neboli access points (AP), vykrývající co největší počet koncových uživatelů. Čtvrtý a zároveň poslední parciální cíl se bude zabírat porovnáním technologií podle kritéria ekonomická náročnost [14].

2.2 Průzkum lokality a nalezení bodů pro distribuci páteřní konektivity

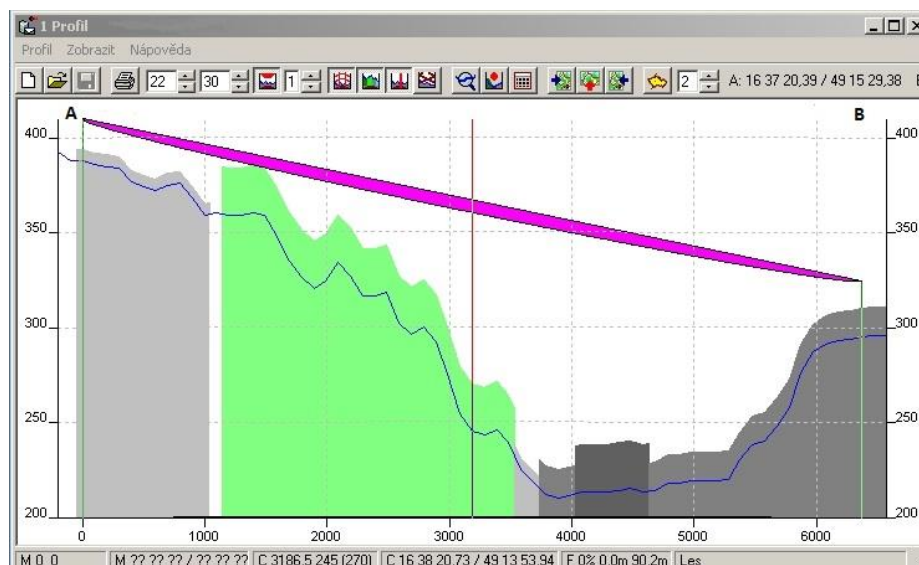
V dané lokalitě je k dispozici pouze metalické vedení pro přenos hlasu a dat operátora Telefonica Czech Republic, kde je přenosová rychlost dat pro koncové uživatele omezena parametrem velká vzdálenost od ústředny. Optický kabel není do této oblasti zaveden. Na základě těchto zjištění byl pro vybudování páteřní trasy

zvolen bezdrátový radioreléový spoj. Tento spoj je páteřním prvkem a jeho úkolem je přenést z optického páteřního okruhu (POP) požadovanou konektivitu do cílové lokality. Bod POP je zároveň označován jako bod A, tj. bod, na němž je umístěna parabola páteřního mikrovlnného spoje.

Umístění a vytvoření point to point spoje (PtP) pro páteřní konektivitu je dáno optickou viditelností mezi jednotlivými body, tj. mezi parabolou v bodě A a parabolou v bodě B, kdy jako bod B byl v našem případě označen bod ve sportovním areálu místní části (MČ) Brno – Útěchov. Bod B byl zvolen v rámci geolokace z důvodu nejvyšší nadmořské výšky v této nepokryté lokalitě. V našem případě byl použit profesionální software k výpočtu lokalit, nazývaný RadioLab. Při výběru bodů A a B, jež jsou označovány jako body retranslační, je ve většině případů zohledněn digitální model terénu. Pomocí tohoto nástroje lze snadno a rychle určit viditelnost, velikost Fresnelovu zónu (FZ), vzdálenost, azimuty, potřebné výšky antén nad terénem a další údaje, jež jsou nezbytné pro návrh mikrovlnného spoje. Při budování rozsáhlejších tras, kde není zajištěna přímá viditelnost mezi koncovými lokalitami, je možné využít funkce viditelnosti z obou těchto bodů a průmětu viditelností, viz obr. 2.1. Dále je nutno vytipovat vhodné místo k vybudování retranslace. Software Radiolar zahrnuje i přibližná morfologická data (zástavba, les apod.) a celý výpočet trasy nebo viditelnosti může být proveden tak, aby bylo počítáno i s těmito překážkami, viz obr. 2.2.



Obr. 2.1: RadioLab – mapa pro ověření viditelnosti jednotlivých bodů páteřní trasy.



Obr. 2.2: RadioLab – profil terénu pro jednotlivé body páteřního spoje.

Výsledky z programu RadioLab je vždy nutno potvrdit fyzickým průzkumem lokalit, a ověřit tak přímou viditelnost. Pokud se jedná o krátké vzdálenosti, vystačíme si obvykle s běžným triedrem. Pokud se však jedná o dlouhé trasy, tj. nad 10 km, jsou používány pro potvrzení přímé viditelnosti záblesky zrcadel nebo halogenových reflektorů. Nezbytným předpokladem je samozřejmě dobrá viditelnost. U spojů s retranslací je třeba navštívit místa, jež systém vypočítá a označí za vhodná, následně je ověřována přímá viditelnost na oba koncové body a současně také vhodnost lokality pro umístění antén.

Pro bezdrátové sítě je totiž velmi důležité, aby u obou bodů (dále jen PtP) byla zajištěna vzájemná přímá viditelnost. Také u distribuční sítě je zapotřebí zajistit, aby u všech koncových uživatelů byla zajištěna přímá viditelnost na centrální bod. Tento princip šíření signálu je označován jako Point to Multipoint (dále jen PtMP).

Vzhledem k tomu, že radiové vlny se nešíří jako laserový paprsek, vyzařovací schéma je podobné ragbyovému míči, tj. směrem do středu se zóna rozšiřuje, což je přísně dáno fyzikálními zákony. V této zóně by pokud možno neměly být žádné překážky – budovy, stromy a podobně. V opačném případě dochází k rapidnímu poklesu dosahu [8].

Zóna šíření radiových vln, nazývána Fresnelova zóna, se sestává z více úrovní.

Nejdůležitější pro dosah je 60 % z první FZ. Výpočet je dán relativně jednoduše, tj. jako poloměr ragbyového míče, a tedy nejvyšší vzdálenost (v metrech) mezi středem a krajem je dána rovnicí:

$$60 \% \times 17.3 \times \text{odmocnina } (D/4f), \quad (2.1)$$

kde D je vzdálenost v km, f je frekvence v GHz.

Zjednodušeně lze konstatovat, že na 1km spoj je třeba zajistit u protějšího bodu volný prostor v okolí minimálně 3,4 metrů. Obecně vzato, čím více volného prostoru, tím lépe.

Jestliže podmínka volného prostoru je splněna jen částečně, je možno provést zkušební spojení, při němž však rychlost nemusí být stabilní. Vhodnějším řešením je umístění antény do vyšší polohy na stožáru, aby tak byla dosažena správná hodnota pro první FZ. V případě, že není možné zajistit přímou viditelnost, je nutné přistoupit k řešení pomocí retranslace.

Před vlastní instalací spoje je nezbytné provést předinstalační měření rádiového spektra pomocí spektrálního analyzátoru Promax se speciálně vyrobenou sondou pro toto pásmo. Na základě tohoto měření je následně proveden výběr nejvhodnějších vysílacích kanálů, a to tak, aby spoj nebyl nikým rušen a aby sám nerušil již existující spoje ve svém okolí, viz obr. 2.3.



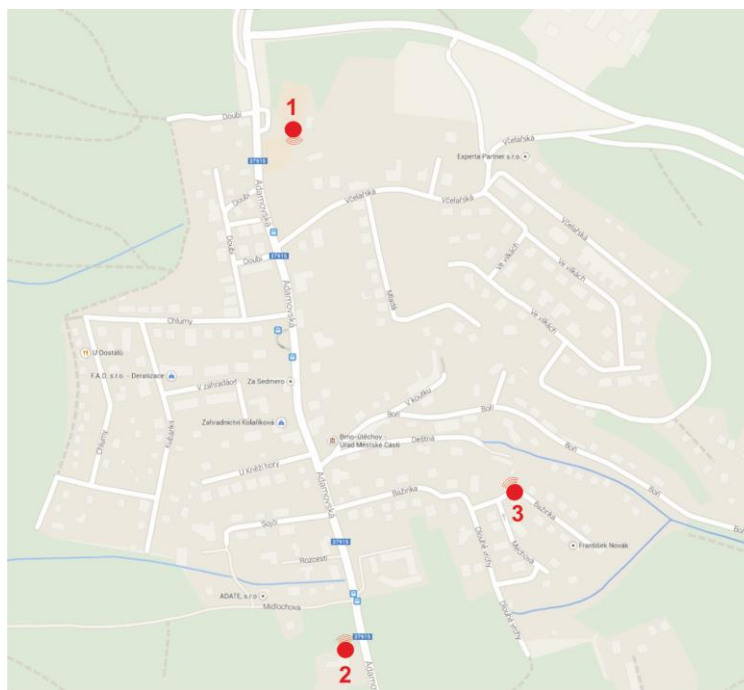
Obr. 2.3: Měření volných pásem ve vybrané odlehle oblasti.

Při instalaci distribučních sítí s rozhraním 10/100/1000 BaseT se používá pro zjištění kvality přenosu měřicí přístroj JDSU, jenž umožňuje změřit propustnost a chybovost spoje přímo na Ethernet rozhraní. Výsledkem je měřicí protokol.

Konkrétním výsledkem námi provedeného výpočtu a měření je zjištění, že páteřní mikrovlnný spoj může pracovat ve volném pásmu 10,5 GHz. Tímto důkladným proměřením bylo zároveň verifikováno, že vybrané pásmo splňuje podmínky pro přenos.

2.3 Návrh umístění distribučních bodů s nejvyšším možným pokrytím oblasti

První krok pro návrh umístění a následnou výstavbu distribuční je zajištěn umístěním hlavního distribučního bodu na stožár páteřního spoje ve sportovním areálu. Jak bylo uvedeno výše, tento hlavní distribuční bod je přímo propojen s páteřním mikrovlnným spojem. Zároveň je tímto zajištěn i maximální dosah a viditelnost v rámci nepokryté oblasti a stejně tak i datová konektivita.



Obr. 2.4: Topologie distribučních bodů ve vybrané odlehle oblasti.

Z důvodu, aby byla zaručena viditelnost a byla dodržena doporučená Fresnelova zóna pro umístění paraboly páteřního spoje ve výšce 5,5 m, bylo nutno vybudovat stožár o výšce 8 m. Do kalkulace výstavby stožáru je zahrnuto vedle vlastního vztyčení stožáru na betonové patce také zřízení kvalitního uzemnění a přivedení elektrického proudu z veřejné elektrorozvodné sítě.

Tento hlavní distribuční bod (1), viz obr. 2.4, je dále popsán v následující kapitole. Podružné distribuční body pro distribuci signálu byly vybrány podle hlediska výhodnosti pokrytí a jsou označeny na mapě, viz obr. 2.4, označeny jako bod (2) a bod (3). Pro podružný distribuční bod bude v textu dále užíván termín vykrývač. Tyto vykrývače jsou propojeny s hlavním distribučním bodem pomocí mikrovlnného pojítka PtP, a to z důvodu shodné datové rychlosti na všech bodech. Vykrývače jsou propojeny pomocí technologie Ubiquiti Rocket M5 s anténou Dish v pásmu 5Ghz. U vykrývačů byl zvolen lokality s ohledem na zajištění pokrytí u co největšího počtu koncových uživatelů. V těchto bodech (2) a (3) byla prověřena přímá viditelnost stejně jako u páteřního mikrovlnného bodu.

2.4 Technologie bodů podle kritéria ekonomická náročnost

Nyní bude naše pozornost zaměřena na jednotlivé komponenty pro realizaci pokrytí signálem odlehle oblasti a na kalkulaci výsledné ceny návrhu pokrytí odlehle oblasti signálem jako celku. Postupně bude pojednáno o výběru jednotlivých technologií s ohledem na jejich ekonomickou náročnost při zachování vysoké technické spolehlivosti navrženého řešení.

2.4.1 Návrh realizace napájení distribučních bodů včetně komponentů a jeho verifikace v praxi

Napájení hlavního rozvaděče i vykrývacích bodů je řešeno pomocí záložního zdroje UPS a měniče napětí. Baterie v UPS, viz obr. 2.5, jsou sériově zapojeny a pomocí měniče je korigováno jejich výstupní napětí na požadovanou hodnotu. Na základě zjištěných možností jsme při plánování zvolili pro distribuční body antény s aktivní jednotkou od téhož výrobce, a vyřešili tak efektivně napájení aktivních

jednotek antén. Zvolené antény jsou vyráběny firmou Ubiquiti [10]. Tento výrobce používá adaptér s unifikovanými napájecími hodnotami, a to napětí 24 V a proud 1 A. U vybrané antény NanoBridge, jež zajišťuje pokrytí koncových uživatelů, je v technické dokumentaci deklarována spotřeba 5,5 W na jednotku. K propojení vykrývače s hlavním distribučním bodem je použita jednotka Rocket M5 s anténou Dish, u níž je výrobcem uvedena spotřeba 6,5 W na jednotku. Vyšší výkonový odběr jednotky lze zdůvodnit tím, že jednotka Rocket M5 je osazena jiným typem zářiče. Z tohoto důvodu byl použit v našem návrhu realizace 12portový pasivní injektor Power Over Ethernet (POE) [15].

Výrobky společnosti Ubiquiti jsou napájeny pomocí kabelu UTP cat. 5e, jenž zároveň slouží k přenosu dat. Na pinech 4 a 5 konektoru RJ45 je zapojeno kladné napájení, na pinech 7 a 8 záporné napájení. Data jsou přenášena po pinech 1,3 a 5,6. POE injektor má na každém portu vratnou pojistku 650 mA.



Obr. 2.5: Hlavní rozvaděč – UPS.

Proměřením odběrů proudu byly zjištěny tyto konkrétní hodnoty, viz Tab. 2.1. Hlavní router Mikrotik CCR1016 je napájen přímo z měniče.

Tab. 2.1: Odběr proudu pro jednotlivé aktivní prvky.

Zařízení	Vysílání	Klidový stav
NanoStation Loco M5	0,26 A	0,17 A
NanoBridgeM5	0,30 A	0,25 A
Rocket M5 + Dish	0,30 A	0,26 A

2.4.2 Hlavní distribuční bod

Hlavní distribuční bod je tvořen těmito prvky: páteřním mikrovlnným spojem Alcoma MP 200, routerem Mikrotik CCR 1016 12G, anténami pro propojení vykrývacích bodů a anténami Ubiquiti, Dish s jednotkou Rocket M5 a distribučními anténami Ubiquiti NanoBridge M5.

Páteřní radiový mikrovlnný spoj ALCOMA MP200, viz obr. 2.6, umožňuje přenos 200 Mbps při 28MHz šířce pásma. Venkovní jednotka je pomocí kabelu kategorie 7 napájena a zároveň je přes ni prováděn datový přenos. Kabel je přiveden do chráněné svorkovnice. Tento páteřní spoj pracuje ve volném kmitočtovém pásmu 10,3 až 10,6 Ghz. Spoj pracuje s modulací až 256QAM podporuje QoS – Quality of Service, ATPC- Automatic Transmit Power Control, ACM - adaptive coding and modulation. Spoj je připraven pro IPTV - Internet Protocol television (MTU-10240 Byte) a používá DSP – Digital signal processing – digitální zpracování [21].



Obr. 2.6: Páteřní radiový mikrovlnný spoj ALCOMA MP200.

Router Mikrotik CCR1016, viz obr. 2.7, je router s 16jádrovým procesorem. Tento velký výpočetní výkon umožňuje routovat mnoho milionů paketu za sekundu. Jeho hlavním plusem je 12 Gigabit Ethernet portů, jenž lze dle potřeby sdružovat do bridge, čehož využijeme i v našem případě. Dále je osazen sériovým portem RS232 a mikro USB portem.

Model je osazen 2GB pamětí RAM a systémem RouterOS, jenž je 64bitový. K rozšíření paměti jsou použity dva SODIMM sloty pro RAM moduly. Do prvního portu je přivedena konektivita z páteřního spoje. Druhý a třetí port je nakonfigurován pro PtP k vykrývacím bodům 2 a 3, ostatní jsou nakonfigurovány pro přímou distribuci. Ostatní porty slouží k distribuci [22].



Obr. 2.7: Router Mikrotik CCR1016.

Antény NanoBridge a RocketDish jsou napájeny pomocí POE, viz obr. 2.8. Standard POE umožňuje napájení po datovém síťovém kabelu, a to bez nutnosti přivedení napájecího napětí k přístroji dalším samostatným kabelem. Tímto jsou optimalizovány ekonomické náklady na kabeláž a zároveň se realizace vlastní kabeláže zjednoduší, tudíž se urychlí i samotná výstavba.

Navržený panel integruje 12 pasivních POE injektorů, vhodných pro napájení až 12 zařízení. Tímto panelem je profesionálně řešeno vzdálené napájení většího počtu aktivních prvků s integrovaným extraktorem po UTP kabeláži. Tento POE má dostatečné výstupní napájení, jež zajistí bez problémů napájení námi navržených jednotek [17].



Obr. 2.8: Pasivní injektor Power Over Ethernet injektor s 12 porty.

K distribuci signálů ke koncovým uživatelům byl vybrán produkt NanoBridge M5, viz obr. 2.9, s 25dBi anténou společnosti Ubiquiti. Tato jednotka pracuje v režimu Access Point (AP). Jedná se o kompletní venkovní jednotku, tj. anténu s technologií MIMO včetně aktivního prvku, pracující v pásmu 5 Ghz. U této jednotky je vykazována přenosová rychlost až 150 Mbps, a to díky normě 802.11n [11]. Tato jednotka je využita jako tzv. „poslední míle“ i z toho důvodu, že využívá časového multiplexu TDMA. Díky tomu lze v režimu AP připojit až 300 klientů, a dosáhnout tak nízké latence. Jednotka se jednoduše nastavuje přes webové rozhraní, čímž je instalace velice zjednodušena a časově zkrácena. Jednotka může pracovat v režimech AP, klient, WPS. V našem případě byl zvolen režim AP pro všechny použité jednotky. Další z funkcí této jednotky je QoS, možnost vytvoření bridge nebo routingu, s nebo bez NATu – Network address translation. Jednotka včetně antény je napájena přes PoE [16].



Obr. 2.9: NanoBridge M5, anténa 2x 25dBi, MIMO 5GHz, AirMax.

Jednotka Rocket M5[19] s anténou Dish 5 GHz [18], je vhodná pro spoje PtP. Tato sestava je připravena pro venkovní nasazení, viz obr. 2.10. Jednotka je propojena dvěma RSMA konektory do vyzařovače s technologií MIMO, kdy jeden RSMA konektor je užíván pro Rx a druhý pro Tx přenos. Celá sestava pracuje v pásmu 5 GHz. Zařízením je podporován kromě protokolu IPv4 i protokol IPv6, a to jak v režimu bridge i WDS. Jednotka dosahuje při využití standardizované normy 802.11n datovou rychlost přenosu až 150Mbps. Díky webové administraci je i u této jednotky jednoduché nastavení. Jednotka je schopna pracovat ve třech režimech, a to režimu AP, klient nebo WDS.



Obr. 2.10: Dish a Rocket M5, anténa 2x 25dBi, MIMO 5GHz, AirMax.

Kompletní řešení hlavního rozvaděče sestaveného z Mikrotik Routeru CCR-1016, Alcoma – svorkovnice, POE-PAN12 – 2X, vyvazovacího panelu a UPS záložní baterie dokumentuje obr. 2.11.



Obr. 2.11: Kompletní řešení hlavního rozvaděče.

2.4.3 Vykřívací distribuční body

Vykříváče jsou vybaveny stejně jako hlavní distribuční bod záložním napájením přes UPS s měničem napětí, routerem a PoE injektorem. Vykrytí koncových uživatelů je řešeno použitím jednotky NanoBridge v režimu AP. Na jednu vysílací jednotku je připojeno maximálně 10 koncových uživatelů, využívajících jednotku NanoStation Loco M5. Vykřívací body jsou pomocí PtP spojení v pásmu 5GHz propojeny přímo na hlavní distribuční bod, čímž je zajištěno, že rychlost je garantována pro všechny koncové uživatele a zároveň nedochází k její postupné degradaci.

2.4.4 Klientská stanice

V případě klientského řešení byla hlavním cílem kromě kvalitního datového přenosu jednoduchá a rychlá instalace a v případě poruchy – rychlá oprava. Z tohoto důvodu byly pro užití zvoleny venkovní jednotky s integrovanými dvěma 13dBi anténami MIMO, viz obr. 2.12. Jedná se o produkt společnosti Ubiquiti, a to konkrétně o jednotku NanoStation Loco M5 [20], pracující v pásmu 5 GHz.



Obr. 2.12: Klientská jednotka.

Jednotka disponuje MIMO a technologií TDMA, má jeden Ethernet port s podporou PoE. Jednotka pracuje v našem případě v režimu klient. Součástí je podpora QoS 802.11e (WMM). Jednotka zvládá bez problémů požadavky na potřebné přenosové rychlosti, a to 20 Mbps, což se přes tuto klientskou jednotku při šířce pásma 20 MHz v námi řešeném návrhu podařilo. Výrobcem Ubiquiti je využíván u vyráběných produktů systém AirMAX. Systém AirMAX lze využívat i v zarušeném prostředí.

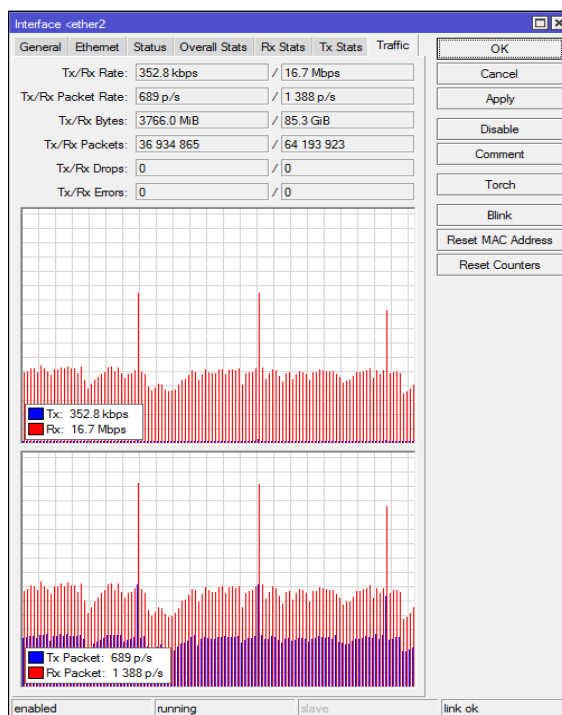
Systém AIRMAX pracuje s časovým multiplexováním TDMA, jehož prostřednictvím jsou přidělovány tzv. time-slots neboli časové úseky pro přístup k datům pro všechny koncové uživatele, připojené k danému AP. K zajištění správné funkčnosti je zapotřebí, aby systém AirMAX byl zapnut na vysílací i přijímací straně zařízení. Pokud kvalita signálu je shodná u všech koncových uživatelů k danému AP, tyto time-slots jsou rozděleny rovným dílem mezi koncové uživatele. I za této situace systém v případě potřeby nabízí prostor pro ovlivnění nastavení množství time-slotů u koncových uživatelů. V situaci, kdy kvalita příjmu u jednoho koncového uživatele poklesne oproti ostatním koncovým uživatelům, bude automaticky snížena jeho rychlost při zachování rychlosti u ostatních koncových uživatelů. Tato vlastnost je zajištěna službou QoS, jež je nedílnou součástí AirMAXu.

Další výhodou AirMAXu je TDMA VoIP / Video QoS. U tohoto algoritmu je automaticky detekován VoIP a video pakety, jimž jsou automaticky udělovány priority.

V případě zapnutého AirMAXu poskytne AP každému klientovi vlastní time-slot pro přenos, klient tak může přijímat data bez ohledu na změnu v příjmových podmínkách (např. klimatické změny, ovlivňování jinými vysílacími zařízeními). Tím se stávají spoje silnější a stabilnější i v silně zarušeném prostředí.

V rámci zkušebního provozu námi navrženého vykrytí signálem odlehle oblasti se potvrdil teoretický předpoklad, že u funkce ACK Timeout pro nastavení výpočtu vzdálenosti je vhodné vypnout Auto Adjut a nastavit ručně dobu, jak dlouho bude zařízení čekat na potvrzovací paket o příjmu, zaslaný z přijímače. Při automatickém určování hodnoty Auto Adjut totiž klesne výkon jednotky. Kvalita efektivnosti navrženého datového přenosu, jež se vyjadřuje v procentech, byla u jednotlivých koncových uživatelů ověřena pomocí funkce CCQ. U všech bezdrátových jednotek je použit zabezpečovací protokol WPA2-AES.

Na jednotkách bylo provedeno měření propustnosti, viz obr. 2.13, závisující na vzdálenosti a šířce pásma.



Obr. 2.13: Propustnost na klientské jednotce.

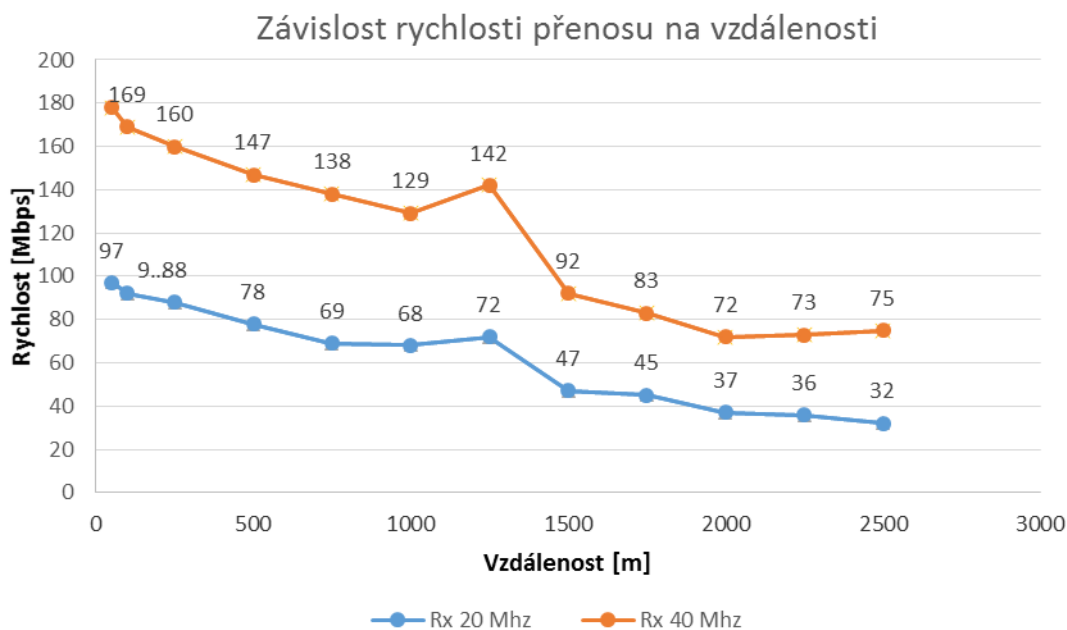
V případě šířky bylo ověřeno užití šířky pásma 20 MHz, následně byla hodnota zvýšena na dvojnásobek, tj. na hodnotu 40 MHz, viz tab. 2.2.

Tab. 2.2: Závislost rychlosti na vzdálenosti od AP.

Vzdálenost [m]	Rx pro 20 MHz [Mbps]	Rx pro 40 MHz [Mbps]
50	97	178
100	92	169
250	88	160
500	78	147
750	69	138
1000	68	129
1250	72	142
1500	47	92
1750	45	83
2000	37	72
2250	36	73
2500	32	75

Výsledky tabulky 2.2 jsou názorně zobrazeny v grafu, viz obr. 2.14.

Naměřenými hodnotami byl potvrzen teoretický předpoklad, že propustnost je závislá na šířce pásma.



Obr. 2.14: Závislost rychlosti přenosu na vzdálenosti.

V našem případě lineárně hodnota rychlosti přenosu klesá s rostoucí vzdáleností. Tato lineární závislost nemusí platit v každé lokalitě, je ovlivněna faktory jako např. množství použitých kmitočtů, zarušení prostředí aj. V městských aglomeracích je situace v porovnání s námi realizovanou lokalitou – odlehlou oblastí opačná. Je zde větší koncentrace různých poskytovatelů, jimiž je toto pásmo hojně využíváno pro distribuci datového toku koncovým uživatelům.

2.5 Ekonomická náročnost řešení

Výše popsané komponenty a prvky v síti byly dle aktuálních ceníků a tarifů zkalkulovány jednotlivé položky. Konkrétní nacenění finančních nákladů na pokrytí signálem vybrané odlehlé oblasti bylo provedeno ve dvou variantách. V první bylo využito bezdrátové technologie, viz tab. 2.3, ve druhé variantě je užita kombinovaná technologie, a to bezdrátový mikrovlnný spoj pro páteřní trasu a optický kabel pro

distribuci signálu ke koncovým uživatelům, viz tab. 2.4. Obě varianty jsou podrobeny vnitřní komparaci a následně z nich je vybrána varianta ekonomicky výhodnější, a to bezdrátové řešení.

Tab. 2.3: Kalkulace bezdrátového řešení distribuce signálu v odlehle oblasti.

Hlavní distribuční bod (1)		
	cena bez DPH	cena s DPH
ALCOMA MP200 + 90cm, 60cm + instalace	250 000,00 Kč	302 500,00 Kč
Router Mikrotik	15 000,00 Kč	18 150,00 Kč
Příhradový stožár (patka, konstrukce, montáž)	50 000,00 Kč	60 500,00 Kč
Rozvaděč	7 000,00 Kč	8 470,00 Kč
Záložní zdroj + baterie (výdrž 10hod.)	12 000,00 Kč	14 520,00 Kč
Anténa sektorová (1 ks)	1 900,00 Kč	2 299,00 Kč
RocketM5 jednotka (2 ks)	10 800,00 Kč	13 068,00 Kč
NanoBridgeM5 jednotka (8 ks)	14 288,00 Kč	17 288,48 Kč
Mezisoučet	360 988,00 Kč	436 795,48 Kč

Vykrývač (2)		
Stožár	2 900,00 Kč	3 509,00 Kč
Rack 9U	4 900,00 Kč	5 929,00 Kč
Záložní zdroj + baterie (výdrž 10 hod.)	8 000,00 Kč	9 680,00 Kč
RocketM5 jednotka + Dish (1 ks)	3 600,00 Kč	4 356,00 Kč
NanobridgeM5 jednotka (8ks)	14 288,00 Kč	17 288,48 Kč
Mezisoučet	33 688,00 Kč	40 762,48 Kč

Vykrývač (3)		
Stožár	2 900,00 Kč	3 509,00 Kč
Rack 9U	4 900,00 Kč	5 929,00 Kč
Záložní zdroj + baterie (výdrž 10 hod.)	8 000,00 Kč	9 680,00 Kč
RocketM5 jednotka + Dish (1 ks)	3 600,00 Kč	4 356,00 Kč
NanoBridgeM5 jednotka (8 ks)	14 288,00 Kč	17 288,48 Kč
Mezisoučet	33 688,00 Kč	40 762,48 Kč

Klient – jedna přípojka		
Konzole	150,00 Kč	181,50 Kč
UTP kabel (průměrně 15m)	75,00 Kč	90,75 Kč
Nanostation M5 Loco jednotka	1 500,00 Kč	1 815,00 Kč
Mezisoučet	1 725,00 Kč	2 087,25 Kč

Celý projekt (bez lidské práce)		
Hlavní distribuční bod (1)	360 988,00 Kč	436 795,48 Kč
Vykrývač (2)	33 688,00 Kč	40 762,48 Kč
Vykrývač (3)	33 688,00 Kč	40 762,48 Kč
Klient – jedna přípojka	1 725,00 Kč	2 087,25 Kč
Cena celková	430 089,00 Kč	520 407,69 Kč

Dále je provedena cenová kalkulace nákladů, kdy je pátevní spoj řešen mikrovlnou a distribuce signálu ke koncovým uživatelům optickým kabelem. Podotýkáme, že cenové vyhodnocení pátevní trasy bylo realizováno v předchozí kapitole, viz tab. 1.2, s přihlédnutím k těmto již známým skutečnostem byl proto pro naši realizaci pokrytí signálem vybrané odlehle oblasti vybrán mikrovlnný spoj. Zároveň podotýkáme, že při této variantě je však nutné vybudovat rozvod pomocí optických kabelů k jednotlivým koncovým uživatelům. Je třeba vzít v úvahu, že přenosová rychlost je limitována maximální rychlostí mikrovlnného spoje. Cena za výměnu výkonnějšího mikrovlnného pátevního spoje, s možností realizace v budoucnosti, je v poměru k celkovým nákladům na vybudování optické trasy ekonomicky výhodná. Byly provedeny propočty všech tras. Celková délka tras činí přibližně 15 km. Na začátku každé ulice se počítá s distribučním uzlem. Optická vlákna jsou vedena v chrániče optického kabelu, do níž je optický kabel zafouknut. Byl navržen optický kabel o počtu 12 vláken.

Z tabulek 2.3 a 2.4 vyplývá, že pokládka a distribuce signálu přes optické přenosové technologie je z ekonomického pohledu mnohonásobně finančně nákladnější. Z důvodu ekonomické návratnosti, legislativní a časové náročnosti bylo proto námi přistoupeno k realizaci řešení pomocí bezdrátových technologií, a to i s vědomím potřeby zajistit kvalitní servis a garanci servisního zásahu s odstraněním závady v časovém intervalu do čtyř hodin.

Tab. 2.4: Kalkulace kombinovaného řešení distribuce signálu v odlehle oblasti.

Hlavní distribuční bod (1)		
	cena bez DPH	cena s DPH
ALCOMA MP200 + 90cm, 60cm + instalace	250 000,00 Kč	302 500,00 Kč
Router Mikrotik	15 000,00 Kč	18 150,00 Kč
Příhradový stožár (patka, konstrukce, montáž)	50 000,00 Kč	60 500,00 Kč
Rozvaděč	7 000,00 Kč	8 470,00 Kč
Záložní zdroj + baterie (výdrž 10 hod.)	12 000,00 Kč	14 520,00 Kč
L2 switch 24x100Mbps SFP + 2x1Gbps	10 692,00 Kč	12 937,32 Kč
Mezisoučet	344 692,00 Kč	417 077,32 Kč

Optická distribuční síť PtM		
Distribuční BOX (15)	7 845,00 Kč	9 492,45 Kč
Optický kabel 15 Km + pokládka + chránička	9 360 000,00 Kč	11 325 600,00 Kč
Mezisoučet	9 367 845,00 Kč	11 335 092,45 Kč

Klient – jedna přípojka		
Zásuvka	47,00 Kč	56,87 Kč
RouterBoard Mikrotik FTTx RB2011UAS	2 284,00 Kč	2 763,64 Kč
Mezisoučet	2 331,00 Kč	2 820,51 Kč

Celý projekt (bez lidské práce)		
Hlavní distribuční bod (1)	344 692,00 Kč	417 077,32 Kč
Vykrývač (2)	9 367 845,00 Kč	11 335 092,45 Kč
Klient – jedna přípojka	2 331,00 Kč	2 820,51 Kč
Cena celková	9 714 868,00 Kč	11 754 990,28 Kč

V rámci dílčího shrnutí lze konstatovat, že použití optických kabelů, jež umožňují vysoké přenosové rychlosti, je z ekonomického hlediska realizace pokrytí signálem odlehle oblasti je cenově vysoké v porovnání s bezdrátovou technologií a s přihlédnutím k ekonomické návratnosti investice do výstavby optické páteří i distribuční sítě.

3 ZÁVĚR

V naší práci jsme provedli teoretický nástin problematiky pokrytí signálem odlehlých oblastí. Nejprve byla provedena analýza jednotlivých kabelových a bezdrátových přenosových medií. Poté jsme traktovali vlastnosti jednotlivých technologií přenosu na metalických kabelech, optických vláknech a bezdrátových sítích.

V teoretické části bakalářské práce bylo řešeno zajištění datového signálu o potřebné kapacitě do odlehlé, dosud signálem nepokryté, oblasti. Byla provedena analýza a komparace tří jednotlivých variant možných řešení zajištění datového signálu do vybrané oblasti.

V návrhu byla zvolena varianta bezdrátového páteřního spoje, a to z několika důvodů: z ekonomického hlediska je totiž pro poskytovatele budování páteřního spoje pomocí bezdrátové technologie výhodnější díky snížení vlastních investičních nákladů a díky možnosti vybudování páteřního spojení v mnohem kratším intervalu než u kabelové instalace, kdy je nezbytné zohlednit nutnost provedení výkopových prací. Metalický páteřní spoj byl z koncepce návrhu řešení vyřazen, poněvadž metalické spoje v dnešní době mají omezenou kapacitu maximální přenosové rychlosti, jež je nesrovnatelná s optickými technologiemi. Toto „zaostávání“ metalické technologie zákonitě vede k postupnému nahrazování metalických rozvodů optickými vlákny. V současné době jsou v lokalitách, kde existuje z doby minulé zasíťování metalickými kabely, na metalické kabely nasazovány technologie xDSL tak, aby bylo docíleno jejich maximálního využití, tj. aby se finanční prostředky vložené do výstavby metalických kabelů co nejvíce vrátily.

Po vyhodnocení propočtů ekonomické náročnosti jednotlivých variant páteřních tras a ověření dosahu mikrovlnného spoje ve zvolené odlehlé oblasti bylo vybráno zařízení českého výrobce Alcoma MP200. Zkušební provoz potvrdil správnost této volby.

Také u distribuce byly v širším návrhu vytypovány dvě varianty pokrytí signálem této odlehlé oblasti, a to položením optického kabelu ke koncovým uživatelům a bezdrátovým pokrytím signálem Wi-Fi v pásmu 5 GHz. Přestože se optický kabel

z hlediska přenosové kapacity, bezproblémového provozu, z hlediska rušení a dlouhodobé životnosti jeví jako kvalitativně nejvýhodnější, tak po posouzení ekonomické náročnosti byla nakonec v našem návrhu řešení pokrytí signálem odlehlé oblasti zvolena varianta bezdrátové datové distribuce. V rámci konečné volby mezi oběma variantami byl vzat do úvahy vztah nepřímé úměry mezi požadavkem na rychlost a cenou služby. Zároveň byl zohledněn předpokládaný vývoj cen a rychlostí těchto technologií a jejich technický rozvoj pro futurum. I když by v budoucnu byla realizována v cyklu pěti let pravidelná výměna stávajících distribučních bezdrátových technologií za nové moderní s vyšší prostupností, tak cenový poměr bude i v tomto případě jasně hovořit ve prospěch bezdrátových technologií. Pro optické rozvody zase svědčí možnost poskytovat koncovým uživatelům daleko pestřejší portfolio služeb s velkým datovým tokem (např. IPTV, multimediální služby, VoIP, videokonference aj.), což by dobu návratnosti této investice v daném případě mohlo podstatně zkrátit.

Pro vlastní realizaci pokrytí signálem vybrané odlehlé oblasti byly zvoleny produkty výrobce Ubiquiti, jež převyšují současné standardní požadavky na kvalitu přenosu datového signálu koncovým uživatelům.

Výsledky monitoringu stávajícího provozu bezdrátové distribuce signálu v této lokalitě potvrzují správnost volby všech komponentů i návrhu řešení jako celku. Mimo jiné tento závěr dokládá i rostoucí počet žádostí o připojení ze strany koncových uživatelů v této lokalitě.

Z naší teoretické analýzy a realizace návrhu řešení pokrytí signálem odlehlé vybrané oblasti vyplývá, že optické kabely jsou budoucností rychlého internetu a dalších datových přenosů, umožňujících kvalitní a bezpečný přenos dat bez ovlivnění rušením. I přes vyšší vstupní náklady je dle našeho názoru nezbytné investovat finanční prostředky do vybudování infrastruktury postavené na tomto přenosovém optickém médiu spolu se službami, jež jeho prostřednictvím budou poskytovány koncovým uživatelům.

LITERATURA

- [1] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Brno: Miloslav Filka, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] FILKA, Miloslav. *Přenosová média. Skripta VUT FEKT*, poslední aktualizace 8. 1. 2010.
- [3] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. 154 s. ISBN 80-730-0184-5.
- [4] DUBSKÝ, Pavel a Maciej KUCHARSKI. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Praha: MIKROKOM, 1994, 132 s.
- [5] PECHAČ, Pavel a Stanislav ZVÁNOVEC. *Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů*. Praha: BEN – technická literatura, 2007. 199 s. ISBN 978-80-7300-223-7.
- [6] TRULOVE, James. *Sítě LAN: hardware, instalace a zapojení*. Praha: Grada, 2009. 384 s. ISBN 978-80-247-2098-2.
- [7] ŠIMÁK, Boris, Jaroslav SVOBODA a Jiří VODRÁŽKA. *Digitální účastnické přípojky xDSL*. Praha: Sdělovací technika, 2005. 141 s. ISBN 978-80-8664-507-0.
- [8] HANUS, Stanislav a Stanislav ZVÁNOVEC. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*. Brno: Vysoké učení technické, 2005. 134 s. ISBN 80-214-2817-1.
- [9] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. ČTÚ. *Předpisy a opatření* [online]. © 2008 [cit. 4. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/predpisy-a-opatreni/opatreni-ctu/vseobecna-opravneni.html>
- [10] AirOS UBiQUiTi NETWORKS. *AirOS UBiQUiTi.com* [online]. © 2014 [cit. 4. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.ubnt.com/airos>
- [11] IEEE 802.11n Standard. In: *Radio-Electronics.com* [online]. © 2014 [cit. 27. 2. 2014]. Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11n.php>

- [12] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. ČTÚ. *Využívání vymezených rádiových kmitočtů* [online]. © 2008 [cit. 4. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/ctu-informuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/vyuzivani-vymezenych-radiovych-kmitoctu.html>
- [13] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. ČTÚ. *Podání žádosti o individuální oprávnění* [online]. © 2008 [cit. 13. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/ctu-informuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/podani-zadosti-o-individualni-opravneni.html>
- [14] VODRÁŽKA, Jiří. *Přenosové systémy v přístupové síti*. 2., přepracované vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006. 189 s. ISBN 80-01-03386-4.
- [15] HW.cz. *Power Over Ethernet – napájení ethernetových zařízení po datovém kabelu* [online]. © 1997-2014 [cit. 7. 4. 2014]. Dostupné z: <http://hw.cz/ethernet/poe/index.html>.
- [16] I4WIFI. *Datasheet NanoBridge M*. [online]. © 2008-2014 [cit. 9. 4. 2014]. Dostupné z: http://files.i4wifi.cz/inc/_doc/attach/StoItem/1869/NanoBridgeM5_DS_CZ.pdf
- [17] I4WIFI. *Datasheet PoE injektor* [online]. © 2008-2014 [cit. 12. 4. 2014]. Dostupné z: http://files.i4wifi.cz/inc/_doc/attach/StoItem/2064/CZ_datasheet_POE_PAN12.pdf
- [18] I4WIFI. *Datasheet NanoDish 5Ghz – anténa* [online]. © 2009-2014 [cit. 12. 4. 2014]. Dostupné z: http://files.i4wifi.cz/inc/_doc/Pdf/UBNT-NanoDish5G-30.pdf
- [19] I4WIFI. *Datasheet Rocket M5 – anténa* [online]. © 2009-2014 [cit. 17. 4. 2014]. Dostupné z: http://files.i4wifi.cz/inc/_doc/attach/StoItem/1540/UBNT-RocketM5_DS_CZ.pdf
- [20] I4WIFI. *Datasheet NanoStation Loco M5 – anténa klient* [online]. © 2008-2014 [cit. 20. 4. 2014]. Dostupné z: http://files.i4wifi.cz/inc/_doc/attach/StoItem/1550/loco_m5_datasheet.pdf

- [21] ALCOMA. *Datasheet Alcoma MP200* [online]. © 1993-2014 [cit. 24. 4. 2014].
Dostupné z: <http://www.alcoma.cz/cz/sekce/downloads/>
- [22] I4WIFI. *Datasheet Mikrotik CCR1016-12G* [online]. © 2008-2014 [cit. 4. 5. 2014]. Dostupné z: <http://i.mt.lv/routerboard/files/CCR1016-12G.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ACK	Knowledge Character
ACM	Asynchronous Communication Mechanism
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AirMAX	Protocol AirMAX
AP	Access Point
ATPC	Automatic Transmit Power Control
CCQ	Client Connection Quality
CDMA	Code Division Multiple Access
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FSO	Free-Spaces Optics
FWA	Fixed Wireless Access
FZ	Fressnelova zóna
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
IDSL	Indian Deep Space Network
IDU	Indoor Unit
IPTV	Internet Protocol Television
LAN	Local Area Network
LTE	Long-Term Evolution
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
MTU	Maximum Transmission Unit
MWS	Multimedia Wireless System
NAT	Network Address Translation
ODU	Outdoor Unit
PCM	Pulse-Code Modulation
PoE	Power over Ethernet
POP	Připojení k optickému okruhu
PtMP	Point to Multi Point
PtP	Point to Point

QoS	Quality of Service
RAM	Random-Access Memory
RR	Radioreléový spoj
Rx	Reception
SDSL	Symmetric digital subscriber line
SFTP	Shielded Twisted Pair
STP	Shielded Twisted Pair
TDMA	Time Division Multiple Access
Tx	Transmission
UPS	Uninterruptible Power Supply
UTP	Unshielded Twisted Pair
VDSL	Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line
VoIP	Voice over Internet Protocol
WDM	Wave Division Multiplex
WDS	Wireless Distribution System
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WILL	Wireless Local Loop
WMM	Wireless Multimedia
WLAN	Wireless Local Area Network
WON	Wireless Optics Network
WPA2-AES	Wi-Fi Protected Access Advanced Encryption Standard
XDSL	Digital Subscriber Line

PŘÍLOHY

A CD nosič s elektronickou podobou bakalářské práce